



ACADEMIA MILITAR

Impacto Metabólico do Equipamento Individual de Combate numa Equipa de Paraquedistas

Tomás Salvador Pereira Coelho de Mendes Cardoso

Trabalho de Investigação Aplicada

Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de Infantaria

Orientador: Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto Lucena

Coorientador: Professor Auxiliar Convidado Nuno Almeida

Júri

Presidente: Professor Auxiliar Hugo Miguel Bento Rebelo

Arguente: Professora Doutora Joana Filipa de Jesus Reis

Orientador: Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto Lucena

Junho 2025



ACADEMIA MILITAR

Impacto Metabólico do Equipamento Individual de Combate numa Equipa de Paraquedistas

Tomás Salvador Pereira Coelho de Mendes Cardoso

Trabalho de Investigação Aplicada

Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de Infantaria

Orientador: Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto Lucena

Coorientador: Professor Auxiliar Convidado Nuno Almeida

Júri

Presidente: Professor Auxiliar Hugo Miguel Bento Rebelo

Arguente: Professora Doutora Joana Filipa de Jesus Reis

Orientador: Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto Lucena

Junho 2025

EPÍGRAFE

*"The future rewards those who press on. I don't have time to
feel sorry for myself. I don't have time to complain.*

I'm going to press on."

Barack Obama

DEDICATÓRIA

A todos que batalharam ao meu lado e me deram a mão nos momentos mais difíceis mas em especial à minha mãe, ao meu par de guerra e à minha guerreira, a minha namorada.

Obrigado.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste Trabalho de Investigação Aplicada simboliza o final de um percurso de cinco anos marcado pelo empenho, pela persistência e pela superação constante de obstáculos. É um esforço individual que exige muita prática e insistência. No entanto, sem toda a ajuda que me foi prestada, nada seria possível.

Ao meu orientador, Coronel Rui Jorge Palhoto Lucena pela seriedade, disponibilidade, pragmatismo e experiência para levar a cabo todo este sinuoso percurso.

Ao meu coorientador Professor Auxiliar Convidado Nuno Almeida pela enorme disponibilidade, rigor e ajuda e enorme paciência desde os primórdios de todo este projeto até ao culminar do mesmo.

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento ao Regimento de Infantaria n.º 10, pela forma como me acolheu e pelo inestimável apoio prestado no decorrer da minha investigação. A disponibilidade, o profissionalismo e o espírito de camaradagem com que fui recebido foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Estendo também um agradecimento muito especial aos quatro camaradas que me acompanharam mais de perto neste processo. A vossa colaboração, partilha de conhecimento e constante disponibilidade foram extrema importância. Cada contributo vosso foi essencial para enriquecer a minha perspetiva e aprofundar a qualidade desta investigação. A todos, deixo a minha mais profunda gratidão.

Por último mas não menos importante não poderia deixar de agradecer ao meu par de guerra que me deu a mão em todos os momentos de sofrimento e de sufoco característicos não só do Tirocínio para Oficial de Infantaria mas também de toda esta enorme e feroz caminhada e aos meus dois grandes pilares, a minha mãe e a minha namorada que sempre estiveram ao nível do desafio de toda esta caminhada.

RESUMO

A boa condição física é um fator essencial para o empenhamento eficaz em missões de combate que exigem o uso prolongado do Equipamento Individual de Combate. O peso e a configuração do equipamento representam uma carga significativa para o militar, afetando diretamente a sua resistência, mobilidade e desempenho operacional. Um nível elevado de preparação física permite sustentar esforços intensos por períodos prolongados, reduzindo a fadiga precoce e garantindo que o militar mantenha a sua prontidão ao longo da missão. Além disso, uma boa condição física contribui para a redução do risco de lesões musculoesqueléticas, como dores lombares e problemas articulares, que podem ser agravados pelo transporte contínuo de cargas pesadas. O desenvolvimento da força, resistência e flexibilidade ajuda a mitigar estes impactos, tornando o militar mais resistente às exigências físicas do combate.

Este estudo investigou o impacto metabólico do Equipamento Individual de Combate numa equipa de paraquedistas, analisando as exigências fisiológicas associadas ao seu uso. Para quantificar esse impacto, foi utilizada a velocidade crítica como única variável a ser estudada. A velocidade crítica é um indicador do desempenho aeróbio que permitiu avaliar de forma objetiva o efeito da carga transportada sobre a capacidade física dos militares.

A investigação foi conduzida através de testes específicos, comparando a velocidade crítica em 2 diferentes condições.

Os resultados deste estudo forneceram informações relevantes para a otimização da seleção e distribuição do equipamento, permitindo minimizar a fadiga precoce e melhorar o desempenho dos operacionais em missões exigentes. Além disso, poderão servir como base para futuras investigações sobre a aplicação da velocidade crítica na avaliação do desempenho físico em contextos militares.

Através de uma metodologia indutiva, constituiu-se uma amostra de quatro elementos pertencentes ao 2º Batalhão de Infantaria Paraquedistas do Exército português.. Desta forma, tornou-se possível avaliar o impacto do equipamento individual nas várias capacidades metabólicas. Foi igualmente realizada uma revisão de literatura, baseada em bibliografia de relevo sobre a área em estudo.

De acordo com os resultados, foi possível aferir que o desempenho físico dos militares foi significativamente afetado pelo transporte da carga externa, implicando uma

redução de 22% na sua velocidade crítica. Registou-se também um aumento substancial da intensidade e exigência das atividades, refletido na elevada frequência respiratória, concentrações de lactato e percepção subjetiva do esforço, aferidas nos testes com equipamento. Desta forma, epilogamos que a preparação física adequada é crucial para o sucesso das operações militares, verificando-se ser fundamental trabalhar tanto a capacidade aeróbia como anaeróbia, por forma a melhorar a eficiência e utilização do equipamento individual de combate.

Palavras-chave: Condição Física, Equipamento Individual de Combate, velocidade crítica, 2ºBatalhão Infantaria de Paraquedistas

ABSTRACT

Good physical condition is an essential factor for effective engagement in combat missions that require prolonged use of Individual Combat Equipment. The weight and configuration of the equipment represent a significant load for military personnel, directly affecting their endurance, mobility, and operational performance. A high level of physical preparation allows for sustaining intense efforts over extended periods, reducing early fatigue and ensuring that soldiers maintain their readiness throughout the mission. Additionally, good physical condition helps reduce the risk of musculoskeletal injuries, such as lower back pain and joint problems, which can be exacerbated by the continuous transport of heavy loads. Developing strength, endurance, and flexibility helps mitigate these impacts, making soldiers more resilient to the physical demands of combat.

This study investigates the metabolic impact of Individual Combat Equipment on a team of paratroopers, analyzing the physiological demands associated with its use. To quantify this impact, critical velocity will be used as the only variable under study. Critical velocity is an indicator of aerobic performance and will objectively assess the effect of the carried load on the soldiers' physical capacity.

The research will be conducted through specific tests, comparing critical velocity in two different conditions. The results of this study may provide relevant information for optimizing the selection and distribution of equipment, helping to minimize early fatigue and improve operational performance in demanding missions. Furthermore, the findings may serve as a basis for future research on the application of critical velocity in assessing physical performance in military contexts.

Through an inductive methodology, a sample of four members from the 2nd Infantry Paratrooper Battalion of the Portuguese Army was selected. This approach made it possible to evaluate the impact of individual equipment on various metabolic capacities. A literature review was also conducted, based on significant bibliographic references relevant to the field of study.

Based on the results, it was established that the physical performance of the military personnel was significantly affected by the transportation of external load, and a 22% decline in their critical speed. Additionally, a marked increase in the intensity and demands of the activities was evident, manifesting respiratory rate, lactate concentration. Consequently, it can be concluded that adequate physical preparation is vital for the success of military

operations, emphasizing the need to enhance both aerobic and anaerobic capacities to optimize the effectiveness and utilization of individual fighting equipment.

Keywords Good physical condition, Individual Fighting Equipment, Critical Velocity, 2nd Infantry Paratrooper Battalion

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
1.1. Combate em Teatro de Operações	4
1.1.1. Enquadramento.....	4
1.1.2. Caracterização do Combate Moderno.....	5
1.1.3. Exigência física em combate	6
1.2. O Equipamento Individual no Combate em Ambiente Urbano	8
1.2.1. Caracterização do Equipamento Individual	8
1.2.2. Performance de um militar com carga acrescida	9
1.3. Critérios Fisiológicos Associados	11
1.3.1. Impacto Metabólico	11
1.3.2. Velocidade Crítica.....	12
1.3.3 Anaerobic Distance Capacity	15
1.3.4 Taxa Metabólica Basal em Repouso	15
CAPÍTULO 2. METODOLOGIA, MÉTODOS E MATERIAIS	17
2.1. Tipo de Abordagem.....	17
2.2. Definição dos Objetivos Específicos.....	18
2.3. Pergunta de Partida e Perguntas Derivadas.....	18
2.4. Amostra: Composição e Justificação	19
2.5. Métodos Estatísticos Utilizados	20
2.6. Procedimentos Formais e Éticos	20
2.7. Instrumentos de Medição	21
2.8. Métodos de Medição Utilizados.....	22
2.8.1. Protocolo para o Cálculo da Velocidade Crítica	22
2.8.2. Protocolos de Pesagem e medição de Estatura	23
2.8.3. Protocolo para o cálculo da Taxa Metabólica Basal.....	23
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	25
3.1 Resultados da Velocidade Crítica.....	25
3.1.1. Consumo de O ₂	25
.....	25

3.1.2.	Teste de Velocidade Crítica e Lactatémia	26
3.2.	Resultados da Taxa Metabólica Basal em Repouso	29
3.2.1	Teste da Taxa metabólica.....	29
CONCLUSÃO.....		31
BIBLIOGRAFIA		34

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela n.º 1 – Objetivos Específicos	24
Tabela n.º 2 – Perguntas de Partida.....	25
Tabela n.º 3 – Caracterização Sociodemográfica da Amostra	26
Tabela n.º 4 – Concentração do Lactato Com Equipamento na VC.....	36
Tabela n.º 5 – Concentração do Lactato Sem Equipamento na VC.....	36
Tabela n.º 6 – Lactato Com e Sem Equipamento (mmol/l)	IV
Tabela n.º 7 – Estatísticas Descritivas dos Testes de VC	VI
Tabela n.º 8 – Tabela de Registo da Caracterização da Amostra.....	XII

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Consentimento Informado

Apêndice B – Tabelas de Estatísticas Descritivas VC

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Equipamento e Armamento do Atirador

Anexo B – Peso do Armamento

Anexo C – Percepção Subjetiva do Esforço

Anexo D – Folhas de Registo Laboratorial

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AM – Academia Militar

ADC – Anaerobic Distance Capacity

2ºBIPára –Segundo Batalhão de Infantaria Paraquedista

BPM – Batimentos Por Minuto

cm – Centímetros

CO₂ – Dióxido de Carbono

EP – Exército português

EPOC – Excess Post-Exercise Oxygen Consumption

FC – Frequência Cardíaca

FR – Frequência Respiratória

FND – Força Nacional Destacada

IMC – Índice de Massa Corporal

kg – Quilograma

km/h – Quilómetros por Hora

LG – Lança Granadas

LT – Limiar do Lactato

MINUSCA – Missão Multidimensional Integrada das Nações Unidas para a Estabilização da República Centro-Africana

ml/kg/min – Mililitros por Quilograma por Minuto

mmol/l – Milimoles Por Litro

NATO – North Atlantic Treaty Organization

OE – Objetivo Específico

OG – Objetivo Geral

ONU – Organização das Nações Unidas

PDE – Publicação Doutrinária do Exército

PP – Pergunta de Partida

PSE – Percepção Subjetiva do Esforço

RCA – República Centro Africana

Rpm – Respirações Por Minuto

TIA – Trabalho de Investigação Aplicada

TO – Teatro de Operações

VC – Velocidade Crítica

INTRODUÇÃO

Integrado na estrutura curricular da Academia Militar (AM) e no contexto do treino físico militar, o presente Trabalho de Investigação Aplicada (TIA) constitui o culminar do Mestrado Integrado em Ciências Militares, especialidade de Infantaria. A investigação desenvolve-se em torno do tema: 'Impacto metabólico do equipamento individual de combate numa equipa de paraquedistas.

As operações militares exigem elevados níveis de preparação física, resistência e adaptação às condições extremas dos cenários operacionais. Entre os fatores que influenciam o desempenho dos militares, o Equipamento Individual de Combate (EIC) desempenha um papel fundamental, uma vez que adiciona uma carga considerável ao corpo e pode comprometer a mobilidade, o desempenho metabólico e a resistência dos operacionais (Almeida et al., 2023). O peso do EIC pode variar significativamente consoante a natureza da missão e a especialidade do militar, podendo ultrapassar os 30 kg em algumas circunstâncias. Esse peso adicional não só aumenta o esforço metabólico necessário para a locomoção, mas também pode impactar negativamente a resistência muscular, a capacidade aeróbia e a eficiência na execução de tarefas táticas (Santos Filho, 2020).

Estudos demonstram que o transporte prolongado de cargas pesadas resulta num aumento do consumo de oxigénio (VO_2), da frequência cardíaca e do custo energético do movimento, fatores que podem comprometer a eficácia operacional dos soldados (Oliveira, 2021). Além disso, o impacto biomecânico do EIC pode levar a um aumento da fadiga muscular e a um maior risco de lesões musculoesqueléticas, como lombalgias, entorses e microtraumas acumulativos. No caso específico dos paraquedistas, que frequentemente operam em ambientes dinâmicos e imprevisíveis, estas limitações podem ser ainda mais críticas, influenciando diretamente a capacidade de resposta em cenários de combate.

Neste contexto, a presente investigação tem como objetivo analisar o impacto metabólico do EIC numa equipa de paraquedistas, utilizando a velocidade crítica como a única variável de estudo. A velocidade crítica é um parâmetro fisiológico amplamente utilizado na avaliação da resistência aeróbia e do “limiar de fadiga”, permitindo determinar a intensidade máxima de esforço que um indivíduo pode sustentar de forma prolongada antes de entrar em exaustão (Poole et al., 2016). Através dessa métrica, pretende-se avaliar de forma objetiva a influência do peso do EIC na capacidade física dos militares, oferecendo

uma abordagem quantitativa para compreender o impacto do equipamento no desempenho operacional.

Para a concretização deste estudo, será aplicada uma metodologia indutiva, envolvendo testes específicos em dois cenários distintos: um em que os militares realizarão os testes sem carga adicional e outro em que utilizarão o EIC completo. A amostra será composta por quatro militares pertencentes ao 2.º Batalhão de Paraquedistas do Exército português, permitindo uma abordagem prática e realista à investigação. Além disso, será realizada uma revisão da literatura, recorrendo a fontes bibliográficas relevantes, para contextualizar e fundamentar cientificamente os resultados obtidos. Pesquisas anteriores indicam que fatores como a redistribuição do peso da carga, a adaptação fisiológica dos militares e o uso de equipamentos ergonómicos podem mitigar os impactos negativos do EIC no desempenho físico (Nindl et al., 2013).

Desta forma, espera-se que os resultados deste estudo possam contribuir para uma melhor compreensão do impacto fisiológico do EIC, fornecendo informações úteis para a otimização da sua utilização e ajudando a minimizar os efeitos adversos no desempenho dos operacionais em contexto militar. Os dados obtidos poderão ainda servir como referência para futuras investigações sobre a aplicação da velocidade crítica na avaliação da resistência aeróbica em contextos de elevado esforço físico e carga adicional.

O Objetivo Geral (OG) desta investigação é avaliar a influência metabólica do Equipamento Individual de Combate numa Equipa de Paraquedistas. Neste sentido, será determinada a velocidade crítica (VC) dos militares paraquedistas, com e sem o seu equipamento individual, de maneira a avaliar os demais efeitos. Estabelecido o OG e seguindo a linha de raciocínio, foram concebidos os seguintes objetivos específicos (OE):

OE1: Caraterizar o nível físico sem equipamento através das variáveis em estudo

OE2: Caraterizar o nível físico com equipamento através das variáveis em estudo

OE3: Comparar o nível físico com e sem equipamento

OE4: Perceber a influência do equipamento nas variáveis em estudo (VC)

Uma vez identificados e apresentados os OE, a pergunta de partida (PP) foi formulada, com o intuito de direcionar o teor da investigação, sendo ela, **“Qual a influência metabólica do Equipamento Individual de Combate numa Equipa de Paraquedistas?”**.

O presente TIA foi redigido segundo a Norma de Execução Permanente (NEP) 522/1ª publicada pela AM em 20 de janeiro de 2016, subdividindo-se em 4 capítulos. O primeiro capítulo foca-se na revisão da literatura, dando a conhecer o “estado da arte”. Inicia-se com uma contextualização sobre o combate em teatro de operações, seguido de uma

caracterização do conflitos militares da era moderna, bem como a exigência física dos mesmo nos combatentes. Finalmente, procede-se a uma análise abrangente dos aspetos fisiológicos fundamentais à compreensão do estudo. O segundo capítulo apresenta e justifica a metodologia adotada na execução deste TIA, incluindo a abordagem utilizada para o tratamento dos dados recolhidos, o modelo de análise seguido, a seleção e caracterização da amostra, os instrumentos de recolha de dados e os procedimentos considerados. O terceiro capítulo contempla os resultados obtidos, tanto no terreno como através da análise documental. No quarto capítulo realiza-se a discussão dos resultados, estabelecendo-se uma comparação entre a revisão da literatura e os dados laboratoriais. Por fim, conclui-se a componente textual com a apresentação das conclusões do estudo, das suas limitações e das recomendações para investigações futuras, seguindo-se a bibliografia. Na secção pós-textual, encontram-se os apêndices e anexos relevantes para o desenvolvimento

CAPÍTULO 1. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta o enquadramento teórico necessário para compreender e desenvolver o presente estudo, fornecendo as bases para a investigação de campo. Em 1.1, será explorada a evolução e do Equipamento Individual de Combate (EIC), analisando os seus princípios fundamentais, as mudanças ao longo do tempo e os desafios associados ao seu uso em operações militares. Será dada especial atenção ao impacto do EIC nas missões realizadas por paraquedistas, destacando as exigências físicas e fisiológicas resultantes do seu transporte em cenários operacionais exigentes.

Seguidamente, em 1.2, serão examinadas as exigências metabólicas e os efeitos fisiológicos decorrentes da utilização contínua do EIC. Serão discutidos aspetos como o impacto do peso adicional no deslocamento, a influência na resistência aeróbia e anaeróbia, bem como as potenciais limitações que o equipamento pode impor ao desempenho dos militares. Além disso, será apresentado um levantamento detalhado sobre o equipamento utilizado pelas tropas paraquedistas, identificando as suas especificações e a forma como a carga é distribuída.

Por fim, em 1.3, será realizada uma abordagem às capacidades metabólicas associadas ao desempenho físico sob carga, explorando o seu funcionamento em situações de esforço prolongado. Posteriormente, será conduzida uma análise mais aprofundada dos indicadores fisiológicos que serão avaliados no estudo experimental, nomeadamente a velocidade crítica (VC), permitindo quantificar os efeitos do EIC na eficiência metabólica dos militares paraquedistas.

1.1. Combate em Teatro de Operações

1.1.1. Enquadramento

A evolução do Equipamento Individual de Combate deve-se ao facto das demais exigências crescentes dos atuais conflitos armados, onde o saber agir e tomar decisões em momentos de pressão elevada, a proteção balística e a eficiência operacional são fatores essenciais para a sobrevivência e o desempenho dos militares. Atualmente, o EIC utilizado em cenários de guerra incorpora avanços tecnológicos que procuram equilibrar proteção, mobilidade e conforto, reduzindo o impacto da carga transportada no rendimento físico dos

combatentes (Nindl et al., 2013). O vasto leque de literatura existente sobre este tema aborda diversas vertentes do EIC, desde a sua evolução histórica até às mais recentes inovações aplicadas em teatros de operações contemporâneos. Estudos revelam a importância da ergonomia e da distribuição do peso na prevenção da fadiga precoce e na mitigação do risco de lesões musculoesqueléticas (Knapik et al., 2004). Além disso, investigações recentes analisam os efeitos do equipamento no consumo energético e na eficiência metabólica dos militares em operações prolongadas (Dorman et al., 2021).

No contexto dos conflitos modernos, o EIC deve ser adaptado às particularidades dos diferentes ambientes operacionais, como zonas urbanas densamente povoadas, terrenos montanhosos e climas extremos. O uso de materiais mais leves, vestuário termorregulador e sistemas modulares de carga tem sido explorado para otimizar a performance dos militares sem comprometer a sua segurança (Park et al., 2018).

1.1.2. Caracterização do Combate Moderno

O combate moderno caracteriza-se pela integração de tecnologias modernas, táticas híbridas e operações assimétricas, onde são refletidas a complexidade dos conflitos contemporâneos. A guerra cibernética surgiu como um novo domínio de conflito, envolvendo ataques a infraestruturas digitais para desestabilizar economias e comprometer sistemas militares. Exemplos notáveis incluem o uso de malware sofisticado para sabotagem de instalações críticas, como observado no conflito Rússia-Ucrânia, onde táticas de guerra cibernética foram utilizadas como multiplicadores de força e meios de ataque (*Guerra Híbrida e Ciberconflitos*, 2016). As operações híbridas combinam táticas convencionais e não convencionais, incluindo campanhas de desinformação e ciberataques, com o objetivo de criar confusão e desunião em países. A manipulação de redes sociais e a disseminação de propaganda digital são utilizadas para influenciar a opinião pública e desestabilizar adversários. A guerra híbrida de desinformação na União Europeia atingiu níveis sem precedentes, com atores externos como a Rússia e a China a desempenharem papéis significativos (*La guerra híbrida de la desinformación*, 2024).

A mobilidade e a flexibilidade das forças tornaram-se cruciais, com o emprego de tarefas adaptáveis consideradas fundamentais para cumprir missões específicas e assegurar a vitória no combate. A percentagem de armas e equipamentos militares modernos nas Forças Terrestres russas atingiu não menos que 70% até 2021, indicando um foco significativo na modernização e mobilidade das forças (A Guerra Contemporânea e os Problemas Atuais para a Defesa do País, 2016).

A inteligência artificial e a robótica estão a transformar o campo de batalha, com a crescente integração de tecnologias avançadas a levantar questões éticas e de regulamentação. A emergência de tecnologias capazes de comprometer o modo de vida mundial alterou não só o quotidiano dos cidadãos, mas também as cadeias de valor, as forças laborais e económicas, desestabilizando a segurança e representando novas ameaças globais (Guerra Tecnológica: novo modus operandi, 2024)

O combate moderno é então definido pela fusão de tecnologia avançada, operações híbridas e uma ênfase crescente na guerra cibernética e de informação, exigindo adaptações constantes nas estratégias de defesa e segurança.

1.1.3. Exigência física em combate

A exigência física em combate militar representa uma das componentes mais críticas do desempenho individual e coletivo no teatro de operações. A prontidão física de um militar não se limita à força ou resistência: envolve a integração de capacidades motoras, resistência psicológica, agilidade mental e preparação técnica, com o objetivo de garantir a eficácia operacional sob condições extremas e, sobretudo, a sobrevivência em cenários hostis (NATO, 2022).

No plano da preparação física geral, o treino militar moderno está estruturado para desenvolver a resistência cardiovascular, a força muscular funcional e a mobilidade. As sessões de treino incorporam corridas de longa distância (5 a 10 km), marchas com carga (entre 20 e 45 kg), exercícios de alta intensidade (como burpees, sprints com mudanças de direção e arrasto de objetos pesados), bem como treino com pesos livres. Este tipo de treino visa simular os esforços reais exigidos em combate — como transportar um camarada ferido, mover-se rapidamente sob fogo ou montar equipamento pesado (Department of the Army, 2020). Forças como os Comandos Portugueses ou os Rangers norte-americanos realizam treinos diários de intensidade elevada, muitas vezes com duração prolongada, incluindo atividades como marchas forçadas com armamento completo e mochila tática (Estado-Maior do Exército, 2021).

Em paralelo, o combate corpo a corpo, conhecido como “close quarters combat” (CQC), constitui uma componente vital da formação militar. Esta forma de confronto físico intensivo envolve técnicas de imobilização, defesa pessoal, submissão e neutralização do inimigo. São frequentemente utilizadas disciplinas como Krav Maga, Jiu-Jitsu, Systema ou luta greco-romana. A formação neste domínio procura desenvolver a rapidez de reação, o controlo emocional e a capacidade de decisão em ambientes confinados e de elevada tensão

(Department of the Army, 2009).

Outro fator relevante é a utilização e transporte constante de equipamento militar. Durante operações, os militares transportam armamento pessoal (entre 4 a 7 kg), coletes balísticos (8 a 12 kg), munições, rações, rádios, dispositivos de visão noturna, água e outros utensílios — totalizando frequentemente entre 25 e 45 kg por elemento (USARIEM, 2011). Em unidades de elite, como os Fuzileiros, os treinos incluem o uso contínuo desta carga em diferentes condições meteorológicas e geográficas, com foco na mobilidade sob stress (Marinha Portuguesa, 2020).

A fadiga física, associada ao stress mental, representa uma das principais ameaças ao desempenho em combate. O militar opera frequentemente em privação de sono (24 a 72 horas), com défice calórico, desidratação parcial e exposição prolongada a ambientes extremos. Estas condições são replicadas em exercícios de campo que testam os limites da resistência humana. Estudos demonstram que o stress fisiológico e psicológico cumulativo tem impacto direto na força, na capacidade de raciocínio e na tomada de decisões (Lieberman et al., 2005), o que levou as forças armadas a adotar estratégias de mitigação, como a gestão cíclica do sono, suplementação proteica e reidratação contínua (Tharion et al., 2005).

Além do esforço físico, é necessário considerar o impacto psicológico da exposição a situações de risco de vida, ferimentos graves, perdas humanas e destruição. A resiliência mental é, por isso, cultivada desde a formação inicial, com treinos que envolvem cenários realistas de combate, pressão temporal, simulação sonora e elementos de frustração emocional. O treino de sobrevivência, evasão, resistência e fuga (SERE) é uma prática comum nas forças especiais dos EUA (U.S. Department of Defense, 2015).

Por fim, o período pós-operacional é igualmente importante. A recuperação física visa prevenir lesões crónicas e inclui fisioterapia, recuperação ativa (como hidroterapia e alongamentos), yoga militar e acompanhamento nutricional. O apoio psicológico também é rotina, sobretudo em militares com experiência de combate real, como os envolvidos em missões internacionais da NATO, ONU ou União Europeia (NATO, 2019).

Em suma, o combate militar exige do corpo humano uma performance que transcende o que é pedido em quase qualquer outra profissão. A exigência física não é apenas um requisito de treino — é uma condição de sobrevivência, eficácia operacional e coesão entre camaradas. Como tal, o militar moderno é preparado como um “atleta de combate”, com corpo, mente e técnica a trabalharem em uníssono para enfrentar as circunstâncias mais adversas imagináveis.

1.2. O Equipamento Individual no Combate em Ambiente Urbano

1.2.1. Caracterização do Equipamento Individual

O transporte de carga externa é, de facto, um aspeto crucial e inerente à execução e sucesso das operações militares. Estudos realizados por Boffey et al. (2019) indicam que o peso associado ao equipamento individual tem aumentado, progressivamente, ao longo dos anos. Isto deve-se ao número elevado de baixas, bem como ao insucesso de inúmeras operações militares, causadas pela má gestão e qualidade do equipamento individual levado para combate.

Historicamente, ao longo dos últimos 3000 anos, estima-se que o militar apeado tenha transportado, em média, uma carga de 25 kg, porém, só nos últimos 200 anos, este peso duplicou. Durante as guerras do Iraque e do Afeganistão, observou-se que a média do peso da carga externa transportada por um militar apeado rondava os 50kg (Fish & Scharre, 2018). Jia-Yong et al. (2020) acrescenta que, dependendo da índole da missão, esta carga poderia atingir os 68kg, sendo que estas operações podiam durar até três dias e eram conduzidas em alta altitude.

O equipamento individual desempenha um papel fundamental na proteção e na eficácia no campo de batalha. Tanto em treino como no combate é esperado que o militar, transportando todo o seu equipamento individual, mantenha a *performance* mesmo quando sujeito às tarefas mais exigentes, tendo em consideração que o equipamento é crítico para a sua sobrevivência e para o sucesso da operação (Mala et al., 2015).

Billing et al. (2015) sugere que a sobrevivência no campo de batalha pode ser traduzida em duas medidas: a suscetibilidade, isto é, a probabilidade que um indivíduo tem de ser atingido quando exposto, e a vulnerabilidade a impactos efetivos. A suscetibilidade do militar reduz-se através da sua velocidade de deslocamento, que resulta na redução do tempo de exposição à ameaça, enquanto que a vulnerabilidade é reduzida através da utilização do equipamento de proteção individual, como o capacete e o colete balístico, que protegem os órgãos vitais. É, no entanto, de ressaltar que ambas as soluções para a sobrevivência do militar podem entrar em conflito. A utilização de equipamentos de proteção pesados pode comprometer a mobilidade e a velocidade de deslocamento do militar, o que afeta a sua capacidade de resposta a situações de combate. Encontrar o equilíbrio entre a proteção e a mobilidade é um desafio constante na conceção e no uso do equipamento individual de combate, visando garantir a segurança e o desempenho eficaz dos militares no terreno.

De acordo com um estudo levantado por Santos (2021), através da triangulação de dados, incluindo análise documental, entrevistas e inquéritos realizados a militares da 7ª e 8ª FND na RCA, foi possível obter informações sobre o equipamento individual de combate utilizado pelos militares destacados para este TO, bem como o seu peso. Relativamente ao armamento, os militares são equipados consoante a sua função de combate específica. Todos os atiradores estão equipados com pistola Glock 17 Gen 5 FS com dois carregadores adicionais, os Atiradores normais estão equipados com a espingarda de assalto FN SCAR-L, com oito carregadores adicionais, o Atirador Metralhadora Ligeira (ML) com a ML FN Minimi 5.56 Mk, mais oito fitas, e o Atirador Especial com a FN SCAR-H com mira ótica Trijicon VCOG, mais oito carregadores. O equipamento de proteção individual utilizado contempla o capacete OPS-CORE, o colete balístico THOR e o cinturão Anti Fragmentação THOR (Santos, 2021). Todo o equipamento individual de combate está exposto e discriminado no Anexo A.

No que concerne ao material coletivo são utilizadas as mochilas *Assault Pack* MIL-TEC, equipadas com munições extra, granadas ofensivas e granadas *flashbang*, material de planeamento, água, macas, kit de primeiros socorros; caçadeiras Benelli Super Nova ou Franchi SPAS-15 e o Lança Granadas (LG) 40mm FN40GL-S Mk2 (Santos, 2021).

O somatório total do peso transportado pelos militares, numa operação de CAU, oscilava entre os 25kg e os 35kg, tendo em consideração que esta variação se dava consoante a função desempenhada pelo militar. Ao peso médio podia ainda acrescer uma *Assault Pack* cujo peso podia variar entre os 10kg e os 20kg (Santos, 2021). No Anexo A encontrasse exposto o equipamento individual e o armamento transportado pelos militares com a função de atirador normal, bem como os pesos associados a cada equipamento. No Anexo B estão descritos os pesos associados ao armamento individual e coletivo.

1.2.2. Performance de um militar com carga acrescida

A performance física dos militares constitui um elemento fundamental para a eficácia das forças armadas em operações, particularmente em ambientes de elevada exigência física e psicológica, como o combate. A capacidade de resistência, a agilidade motora, o tempo de reação e a aptidão para tomar decisões rápidas sob pressão são habilidades críticas para a sobrevivência e para o sucesso da missão. No entanto, um dos principais fatores que influencia negativamente estes parâmetros de desempenho é o peso acrescido do equipamento individual de combate (EIC), cuja presença é inevitável em qualquer cenário operacional moderno. O EIC inclui uma vasta gama de componentes, como o armamento

individual, munições, colete balístico, capacete, sistemas de comunicação, hidratação, ração de combate, dispositivos eletrônicos, entre outros. Dependendo do contexto da missão e da doutrina da força empregue, o peso total deste equipamento pode atingir e até ultrapassar os 40 kg, impondo uma carga significativa ao corpo humano (Santos, 2020).

A sobrecarga imposta pelo EIC tem implicações diretas sobre o sistema musculoesquelético, o consumo de oxigênio, a frequência cardíaca e o tempo até à exaustão. Estudos demonstram que a locomoção sob carga compromete a eficiência energética e conduz a uma maior fadiga muscular localizada, principalmente nos membros inferiores, com impacto negativo na capacidade de progressão tática em terrenos irregulares (Almeida, 2023). Esta fadiga é acompanhada por um aumento do risco de lesões por esforço repetido, nomeadamente nas articulações dos tornozelos, joelhos e coluna lombar. Adicionalmente, a sobrecarga compromete a estabilidade postural, o que pode afetar a capacidade de resposta rápida a estímulos, particularmente em situações de combate próximo, onde o equilíbrio e a prontidão motora são determinantes (Ramos, 2019).

Por outro lado, os efeitos do peso do EIC não se restringem ao domínio físico. Diversas investigações apontam para a existência de uma relação entre o esforço físico prolongado sob carga e a diminuição da capacidade cognitiva. A fadiga física, quando acumulada, reduz a atenção sustentada, aumenta o tempo de resposta a estímulos e afeta negativamente o julgamento e a tomada de decisão — aspetos absolutamente críticos em ambientes operacionais dinâmicos e complexos (Almeida, 2023). Isto torna-se particularmente preocupante quando se considera que muitas missões exigem uma vigilância contínua e elevada capacidade de processamento de informação em tempo real, frequentemente sob stress psicológico, privação de sono e condições ambientais adversas.

Para fazer face a estes desafios, têm sido desenvolvidas várias abordagens, tanto ao nível do treino físico como da conceção do equipamento. O treino físico militar moderno procura não apenas desenvolver força e resistência, mas também simular cenários operacionais com carga progressiva, com vista à adaptação fisiológica dos militares à realidade da missão. Além disso, a ciência aplicada ao design de equipamento militar tem procurado reduzir o peso dos materiais utilizados, recorrendo a compósitos mais leves, sem comprometer a proteção balística e a funcionalidade (Santos, 2020). A introdução de tecnologias emergentes, como exoesqueletos assistivos, representa uma fronteira promissora, oferecendo suporte biomecânico ao corpo humano e reduzindo o esforço físico exigido em deslocamentos longos ou no transporte de cargas pesadas.

Contudo, a solução para o problema da sobrecarga do EIC passa também por uma

reflexão mais ampla sobre a doutrina de emprego das forças terrestres. A distribuição do equipamento, a definição de prioridades na carga transportada e a gestão da logística de combate devem ser revistos à luz da evidência científica sobre os efeitos fisiológicos e cognitivos da sobrecarga. Assim, a compreensão aprofundada do impacto do EIC no desempenho dos militares não deve limitar-se à perspectiva individual, mas integrar-se num esforço coletivo de otimização do treino, da tecnologia e das estratégias operacionais, assegurando que as forças armadas mantêm a sua eficácia, adaptabilidade e prontidão no teatro de operações.

1.3. Critérios Fisiológicos Associados

1.3.1. Impacto Metabólico

O impacto metabólico tem por base as alterações que ocorrem no metabolismo humano de acordo com determinados estímulos como o treino físico, a alimentação, a privação de sono e outros fatores ambientais ou fisiológicos. Neste contexto o metabolismo refere-se ao conjunto de reações bioquímicas responsáveis pela conversão e utilização de energia no organismo. Assim, qualquer fator que altere esse equilíbrio energético provoca um impacto metabólico, com consequências ao nível do estado de saúde, da composição corporal e da performance física.

Durante o exercício físico, ocorrem diversas adaptações metabólicas. A curto prazo, a atividade física promove um aumento da taxa metabólica total, em particular através do fenómeno conhecido como Excess Post-Exercise Oxygen Consumption (EPOC), que consiste na elevação do consumo de oxigénio após o treino como forma de repor as reservas energéticas, restaurar o equilíbrio ácido-base e reparar os tecidos (Børsheim & Bahr, 2003). O EPOC pode durar várias horas, dependendo da intensidade e duração do exercício, e contribui significativamente para o aumento do gasto calórico total diário.

A médio e longo prazo, o exercício regular induz adaptações ao nível da eficiência oxidativa e da sensibilidade à insulina, o que significa que o organismo passa a utilizar melhor a energia proveniente dos substratos energéticos, como a glicose e os ácidos gordos. Em particular, o treino de resistência e o treino intervalado de alta intensidade (HIIT) promovem melhorias na capacidade oxidativa das fibras musculares e aumentam a capacidade de mobilização de gordura como fonte energética (Weigend, Siegler & Obst, 2021).

Paralelamente, a alimentação influencia profundamente o metabolismo. A

composição nutricional da dieta afeta não apenas o aporte calórico, mas também o perfil hormonal, a termogénese induzida pelos alimentos e a resposta glicémica. Dietas ricas em proteínas, por exemplo, promovem maior gasto energético devido ao efeito térmico dos alimentos (TEF), uma vez que a digestão e metabolização das proteínas exigem mais energia em comparação com os hidratos de carbono ou as gorduras (Goupil et al., 2017). Além disso, o consumo regular de fibras, micronutrientes antioxidantes e ácidos gordos insaturados contribui para uma resposta metabólica mais eficiente e para a prevenção de estados inflamatórios crónicos de baixo grau, frequentemente associados a doenças metabólicas como a diabetes tipo 2 e a obesidade visceral (Silva & Damiani, 2011).

Outro aspeto relevante é o papel dos padrões de sono na regulação metabólica. A privação de sono tem sido associada a alterações na secreção de hormonas como a leptina (que regula a saciedade) e a grelina (que estimula o apetite), levando a um aumento da ingestão calórica e ao desacelerar da taxa metabólica basal (Guerra et al., 2014). Além disso, dormir menos de 6 horas por noite está correlacionado com maior risco de resistência à insulina, inflamação sistémica e alterações no metabolismo da glicose. Estes efeitos são particularmente preocupantes em populações expostas a níveis elevados de stress fisiológico ou psicológico, como atletas de elite ou profissionais em contextos de exigência extrema.

Do ponto de vista fisiológico, o metabolismo funciona como um sistema termodinâmico em equilíbrio dinâmico. Sob carga muscular, como ocorre durante o exercício ou trabalho físico intenso, há um aumento na conversão de energia química em energia mecânica e calor. Estudos recentes demonstram que, em condições de carga prolongada, os sistemas metabólicos ajustam-se através de vias complexas de compensação energética (Goupil et al., 2017). Estas vias tornam-se particularmente relevantes em estados de jejum, treino prolongado ou dieta restrita em hidratos de carbono.

Em suma, o impacto metabólico é um fenómeno multifatorial, determinado pela interação entre fatores comportamentais, fisiológicos e ambientais. O exercício físico, a alimentação equilibrada e o sono de qualidade constituem os pilares fundamentais para a regulação saudável do metabolismo. A compreensão deste impacto é essencial não só para otimizar a performance atlética e o controlo do peso corporal, mas também para prevenir doenças crónicas metabólicas, melhorar a longevidade e promover um estado de saúde funcional e resiliente ao longo do ciclo de vida.

1.3.2. Velocidade Crítica

A Velocidade Crítica (VC) é um conceito utilizado para avaliar a capacidade de

resistência aeróbia de um atleta. Representa a velocidade máxima que um indivíduo consegue manter por um longo período sem entrar rapidamente em fadiga. Em termos simples, é o ponto de equilíbrio entre um esforço sustentável e outro que, devido à sua intensidade, levaria à exaustão em pouco tempo. Este conceito tem sido amplamente estudado em várias modalidades de resistência, como corrida, natação e ciclismo (Fernandes & Vilas-Boas, 1998). A origem da Velocidade Crítica remonta aos trabalhos de Monod e Scherrer (1965), que desenvolveram o modelo de potência crítica para descrever a relação entre intensidade e duração do exercício até à exaustão. A adaptação do modelo à natação e à corrida revelou-se extremamente útil para avaliar a capacidade de desempenho em contextos práticos, sem a necessidade de recursos laboratoriais complexos e mais trabalhosos (Oliveira, 2008). Segundo Dekerle (2006), quando o exercício é realizado a intensidades inferiores à Velocidade Crítica (VC), verificam-se alterações graduais em variáveis fisiológicas como a concentração de lactato no sangue, a frequência cardíaca (FC) e o consumo de oxigénio ($\dot{V}O_2$). No entanto, estas alterações não atingem os seus valores máximos, o que significa que o esforço, apesar de exigente, mantém-se dentro de um domínio fisiológico controlável.

Dekerle (2006) também destaca que, mesmo em intensidades próximas da VC, os níveis de lactato no sangue capilar podem atingir valores elevados demonstrando que a carga metabólica é significativa. A velocidade associada à VC pode, teoricamente, ser sustentada por aproximadamente uma hora, embora estudos em torno do Estado Estacionário Máximo para o Lactato indiquem que, na prática, esse tempo tende a variar entre os 30 e os 40 minutos. Esta duração é, contudo, altamente individual, como demonstrado por Brickley et al. (2002).

A literatura evidencia ainda alguma inconsistência entre investigadores relativamente à duração precisa da manutenção da VC, sendo este um fenómeno influenciado por múltiplos fatores, como o nível de treino, o tipo de exercício, e as condições fisiológicas e ambientais. Todavia, é consensual que, para a manutenção da VC, deve existir um equilíbrio metabólico entre o consumo de oxigénio ($\dot{V}O_2$) e a produção/eliminação de lactato, o que reforça a VC como um indicador robusto da capacidade aeróbia e um marcador funcional da transição entre os domínios de intensidade "pesado" e "severo" (Denadai et al., 2003; Morton, 2006).

Importa referir que, nos primeiros momentos, o $\dot{V}O_2$ aumenta rapidamente e estabiliza num valor constante, conforme demonstrado por Whipp e Wasserman (1972). Esta estabilização evidencia a predominância do metabolismo oxidativo como via principal de fornecimento energético, característica de esforços prolongados de moderada intensidade.

Quando a intensidade ultrapassa a VC, o $\dot{V}O_2$ tende a aumentar de forma contínua até à exaustão, refletindo um desequilíbrio metabólico progressivo.

Assim, a velocidade crítica assume um papel central na prescrição e monitorização do treino aeróbio e de resistência, funcionando como um limiar metabólico superior fiável, com aplicações práticas tanto em contexto desportivo como em ambientes operacionais, como é o caso das missões militares.

Segundo Jones et al. (2010) a concentração de lactato no sangue em repouso é de, aproximadamente, 1 mmol/l. Após vários minutos de exercício na VC, esta concentração estabiliza em 5-6 mmol/l. A VC representa a taxa máxima segundo a qual o metabolismo oxidativo se mantém sustentável, sem a dependência do metabolismo de energia através dos sistemas de fosfagénio e glicolítico anaeróbio (Hoffman et al., 2016). Apesar de ainda ser feito nos dias de hoje, inicialmente a realização dos testes de VC eram seguidos segundo uma panóplia de exercícios com diversas intensidades, em que a VC era determinada dada da relação entre a intensidade e o tempo que os indivíduos levavam até à exaustão (Dicks & Pettitt, 2021). Todavia, estas formas de determinação da VC demonstraram ser demasiado rigorosas e com elevado desgaste para os indivíduos em questão. Dicks et al. (2021), Solomonson et al. (2016) e Hoffman et al. (2016) verificaram que, através de um teste de corrida de esforço máximo, num período de 3 minutos e possível de uma forma muito mais simples e económica, detetar a VC de uma amostra considerável, numa única sessão, bem como avaliar a capacidade aeróbia e anaeróbia dos sujeitos.

Este exercício de 3 minutos permite determinar a VC sendo que seguido de um esforço máximo se segue um declínio acentuado da velocidade. A VC é atingida nos últimos 30 segundos. (Vanhatalo et al., 2007). Poole et al. (2016) afirma também, que dois minutos e meio após o início do teste se atinge uma constante na velocidade do sujeito, o que sugere que se atingiu a VC. Nesses 3 minutos de teste pressupõe-se que as reservas de glicogénio e de fosfocreatina se esgotaram, permanecendo apenas o sistema oxidativo como fonte principal de produção de energia. Este limiar metabólico crítico tem enorme relevância no meio militar tendo em consideração as exigências físicas dos teatros de operações da atualidade já referidos anteriormente. Solomonson et al. (2016) concluíram que a aplicação de carga externa provoca um efeito negativo considerável na VC dos intervenientes. Neste caso foram aplicados dois testes de 3 minutos, para se avaliar a VC sem o equipamento de combate (20, 00kg de carga externa), aferindo-se uma redução média de 2,40km/h da VC, e a manutenção da CTA. Pettitt & Dick (2017) também enalteceram a relevância da VC, e do teste de 3 minutos, em populações que operam em ambiente tático, fruto da frequente

utilização de carga externa. Também aferiram que a determinação da VC se torna útil na predição da capacidade e velocidade de corrida, em distâncias que variam dos 1000 aos 5000 metros, estabelecendo bases para a prescrição de treinos de alta intensidade, que visam o melhor desempenho dos militares sobre carga externa, bem como a sua capacidade de sobrevivência no campo de batalha.

1.3.3 Anaerobic Distance Capacity

A Anaerobic Distance Capacity (ADC) é um conceito que descreve o tempo máximo durante o qual um atleta pode sustentar um exercício físico intenso com predominância do metabolismo anaeróbio antes de entrar numa fase em que os mecanismos aeróbio predominam.

A ADC representa a duração limite de esforço contínuo possível antes da ativação predominante dos sistemas anaeróbios, caracterizando-se por um ponto de transição fisiológica crítica. Durante esforços realizados abaixo da velocidade crítica, o equilíbrio entre o fornecimento e a utilização de oxigênio é mantido, enquanto acima desta velocidade ocorre uma rápida descompensação metabólica, com acumulação de lactato e depleção acelerada do fosfato de creatina (Poole et al., 2016).

Realizar corrida a velocidades superiores à velocidade crítica leva à redução da eficiência muscular e cardiorrespiratória, devido ao aumento da acumulação de lactato no sangue e ao consumo acelerado das reservas energéticas musculares, como a fosfocreatina e glicogênio. Correr a velocidades superiores à velocidade crítica (VC) implica a entrada numa zona de exercício intenso onde o metabolismo aeróbio já não é suficiente para sustentar as exigências energéticas. Isso conduz a uma progressiva perda de eficiência tanto da função muscular como cardiorrespiratória. Tal ocorre devido ao aumento da concentração de lactato no sangue, acompanhado por uma acidificação do meio interno, que compromete o funcionamento enzimático e a contração muscular (Poole et al., 2016). Esta situação leva à fadiga metabólica e à consequente incapacidade de manter o esforço onde o tempo até à exaustão é finito e previsível.

1.3.4 Taxa Metabólica Basal em Repouso

A Taxa Metabólica Basal em Repouso representa o gasto energético necessário para manter as funções vitais do organismo em estado de repouso físico e mental. Trata-se de um dos componentes fundamentais do gasto energético total diário, e em indivíduos saudáveis

e sedentários, a TMB pode corresponder a cerca de 60% a 75% do gasto energético diário (Heymsfield, Smith, & Thomas, 2019). A sua determinação é essencial em contextos clínicos, desportivos e militares, dado que constitui a base para o cálculo das necessidades energéticas globais de um indivíduo.

Com o indivíduo acordado, após um jejum mínimo de 8 horas e em repouso físico (Poehlman, 1989; McArdle, Katch & Katch, 2015). O valor da TMB é influenciado por múltiplos fatores, entre os quais se destacam a composição corporal, em particular a massa livre de gordura ou massa magra. Dado que os tecidos metabolicamente ativos, como o músculo esquelético, fígado, rins e coração, possuem um metabolismo basal elevado, indivíduos com maior MLG apresentam uma TMB mais elevada (Frankenfield, Roth-Yousey, & Compher, 2005). Outros fatores incluem a idade com tendência para redução da RMR ao longo da vida devido à perda de massa magra, o sexo biológico (sendo os homens, em geral, portadores de maior MLG), o estado hormonal, a genética, o estado nutricional, o nível de atividade física e até a temperatura ambiente (Westerterp, 2004).

Em contexto militar, a compreensão da TMB reveste-se de particular importância. militares em formação são frequentemente sujeitos a níveis elevados de esforço físico, carga externa (transporte de equipamento), défices calóricos e condições ambientais adversas. A subestimação da TMB e, por consequência, das necessidades energéticas totais, pode resultar em fadiga metabólica, perda de massa muscular, défices cognitivos, diminuição da capacidade de recuperação e aumento do risco de lesões (Nindl et al., 2007). O conhecimento da TMB torna-se um instrumento essencial para o planeamento de programas de treino, estratégias nutricionais e gestão do desempenho operacional (Lieberman et al., 2008).

CAPÍTULO 2. METODOLOGIA, MÉTODOS E MATERIAIS

Nesta fase da presente investigação serão mostrados e enquadrados métodos e procedimentos adotados nas várias fases da investigação, com o objetivo de escolher as diversas opções disponíveis

Esta investigação foi conduzida segundo a NEP 522/1ª/AM, Normas para a Redação de Trabalhos de Investigação relativamente à estruturação e formatação. Para a referenciação, foram adotadas as normas APA da 7ª edição. Ao longo do capítulo é exposto o tipo de abordagem adotada para recolha de dados Objetivos Específicos e as Perguntas Derivadas, a composição da amostra, os métodos estatísticos utilizados, os procedimentos formais e éticos adotados (2.6), os instrumentos de medição e de recolha de dados (2.7) e, por fim, os protocolos utilizados na condução dos testes de VC (2.8.1), pesagens, medições de estatura e da pressão arterial (2.8.2).

2.1. Tipo de Abordagem

Qualquer trabalho de investigação necessita de um método de estratégia a ser seguida. Segundo Creswell (2014), a estratégia quantitativa é utilizada para o estudo de variáveis que são medidos com o auxílio de instrumentos, por forma a que os dados possam ser analisados através de procedimentos estatísticos. Desta forma, tendo em conta as exigências desta investigação no que diz respeito à recolha e análise estatística de dados, de modo a confirmar ou refutar o estudo identificado na revisão da literatura, considera-se que a abordagem quantitativa é a mais apropriada. Para o tratamento e análise estatística dos dados apurados, recorreu-se às ferramentas *software IBM SPSS Statistics 28* e *Microsoft Excel*.

Resolvi aplicar o método indutivo como linha de raciocínio escolhido neste trabalho de investigação. Este método baseia-se no estudo de um caso particular, para a obtenção de um resultado geral, através da observação e experimentação de casos concretos, procurando identificar as suas relações (Prodanov & Freitas, 2013).

O presente estudo nos militares pertencentes ao 2º Batalhão de Infantaria Paraquedista, atualmente em aprontamento para a 17ª FND na RCA, no âmbito da MINUSCA

Na pesquisa bibliográfica, foi dada preferência a fontes primárias, como artigos e publicações científicas, livros, relatórios, teses de doutoramento, dissertações de mestrado,

obras doutrinárias do Exército português, bem como documentos doutrinários dos Estados Unidos da América e da NATO, relacionados com o tema em análise. A elaboração do TIA foi realizada com recurso ao software Microsoft Office, enquanto a gestão das citações e referências bibliográficas foi efetuada através do Mendeley Reference Manager.

2.2. Definição dos Objetivos Específicos

O objetivo geral de um estudo expõe de forma explícita a intenção do investigador e a razão pela qual a investigação é conduzida. Define ainda as variáveis principais, o público-alvo e a direção que orienta o estudo (Fortin, 1999). Foi definido como objetivo geral da investigação, **“Avaliar a influência metabólica do Equipamento Individual de Combate numa Equipa de Paraquedistas”**. Para o cumprimento do objetivo geral, o mesmo foi desconstruído em OE representados na tabela n.º 2. Estes traduzem-se em investigações observáveis e mensuráveis que combinados visam o sucesso da investigação (Santos et al., 2016).

Tabela n.º 1 – Objetivos Específicos

OE1	Caraterizar o nível físico sem Equipamento (através das variáveis em estudo).
OE2	Caraterizar o nível físico com Equipamento (através das variáveis em estudo).
OE3	Comparar o nível físico com e sem equipamento
OE4	Perceber a influência do equipamento nas variáveis em estudo (VC)

2.3. Pergunta de Partida e Perguntas Derivadas

Com o intuito de apresentar de maneira clara e objetiva o que se pretende apurar com esta investigação, e no seguimento do objetivo geral previamente mencionado, foi elaborada a Pergunta de Partida (PP). **“Qual a influência metabólica do Equipamento Individual de combate numa Equipa de Paraquedistas?”**. Como suporte à resposta da Pergunta de Partida e em alinhamento com os Objetivos Específicos anteriormente referidos, foram definidas três Perguntas de Desenvolvimento, que se encontram na Tabela n.º 3.

Tabela n.º 2 – Perguntas de Partida

PD1	Qual o nível físico sem equipamento dos 4 militares?
PD2	Qual o nível físico com equipamento dos 4 militares?

PD3	Quais as diferenças do nível físico dos 4 combatentes com e sem equipamento?
PD4	Qual a influência do equipamento nas variáveis em estudo (VC)?

2.4. Amostra: Composição e Justificação

De acordo com Ribeiro (2010) e Fortin (1999) a população consiste nas pessoas, ou objetos, que partilham características comuns, com base nas quais se pretende aferir conclusões. A população alvo desta investigação são militares pertencentes ao 2º Batalhão de Infantaria Paraquedista neste momento em aprontamento para a 17ª FND.

A amostra é constituída por quatro elementos, pertencentes ao 2º Batalhão de Infantaria Paraquedista, que estão atualmente em aprontamento para a 17ª FND, no âmbito da MINUSCA. A relevância desta amostra prende-se com o facto de os Paraquedistas constituírem uma força especial do Exército português, reconhecida pela sua elevada competência e prestígio, encontrando-se atualmente em fase de aprontamento para a 17.ª Força Nacional Destacada, no Teatro de Operações da República Centro-Africana, onde lhes são atribuídas missões de elevada exigência física e psicológica. Relativamente à sua caracterização sociodemográfica, podemos destacar uma idade média de $27 \pm 3,36$ anos, uma altura média de $181,25 \pm 7,78$ cm e um peso médio de $86,95 \pm 6,06$ kg. Estes valores podem ser analisados com maior detalhe na tabela n.º 4.

A amostra tirou partido do seu equipamento individual de combate, para a realização dos testes em laboratório, representado no Anexo A e no Anexo B

Tabela n.º 3 – Caracterização Sociodemográfica da Amostra

	Peso (kg)	Altura (cm)	Idade (anos)	Carga Externa (kg)
Média	86,95	181,25	27,00	20,00
Mediana	79,20	182,00	27,00	20,00
Desvio Padrão	6,06	7,78	3,36	0,00
Variância	36,72	60,50	11,29	0,00
Mínimo	79,60	1,76	21,00	20,00
Máximo	92,40	1,91	29,00	20,00

2.5. Métodos Estatísticos Utilizados

Segundo Fortin (1999) e Ribeiro (2010), as metodologias de estatística descritiva têm como finalidade, com base numa amostra e nos dados correspondentes, oferecer uma visão abrangente das propriedades avaliadas, possibilitando também a identificação e exploração das eventuais associações entre variáveis. No que diz respeito às medidas de tendência central, utilizadas como ferramentas de condensação da informação estatística, recorreram-se à média e à mediana da amostra. Sobre as medidas de dispersão, que representam as variabilidades amostrais, foram utilizados os valores extremos, máximos e mínimos, o desvio padrão, a variância e a amplitude amostral. A análise estatística dos dados recolhidos permite que grandes quantidades de informação sejam manipuladas e trabalhadas, com celeridade e facilidade, resultando na apresentação dos dados de diferentes formas, aumentando-se assim a qualidade da interpretação dos mesmos (Quivy & Campenhoudt, 1995). Relativamente à forma de apresentação dos dados, recorreu-se a técnicas de estatística descritiva, nomeadamente gráficos de linhas e tabelas de frequências e testes de hipóteses.

2.6. Procedimentos Formais e Éticos

A elaboração de um trabalho de investigação deve obedecer a procedimentos formais e éticos que assegurem a validade científica e o respeito pelos participantes e pelo conhecimento produzido. No que se refere aos procedimentos formais, destaca-se a importância do planeamento rigoroso e da estruturação do trabalho, que deve seguir uma organização clara composta por introdução, revisão da literatura, metodologia, apresentação de resultados, discussão e conclusão e referências. Importa ainda referir que, tal como aconteceu no presente estudo, sempre que é necessária a participação de indivíduos na realização do trabalho de campo, essa colaboração deve ocorrer de forma voluntária, mediante a assinatura de um termo de consentimento informado.

Deve ser assegurada a confidencialidade e, sempre que possível, o anonimato dos dados recolhidos, de forma a proteger a identidade e a privacidade dos participantes. A integridade científica também constitui um princípio essencial, exigindo que o investigador atue com honestidade na recolha, análise e apresentação dos dados, evitando qualquer forma de manipulação ou falsificação (Resnik, 2020). Todos os quatro elementos da amostra desta investigação leram e assinaram este mesmo documento, explanado no Apêndice A.

2.7. Instrumentos de Medição

No presente TIA foram utilizados diversos instrumentos de medição com o objetivo de recolher dados relevantes para o estudo. Entre os equipamentos destacam-se o analisador metabólico PNOE, o medidor de lactato Lactate Pro 2 da Arkray, o cardiofrequencímetro Polar H10, bem como os relógios Garmin Instinct 2 e Polar M430, que permitem o registo de dados relacionados com a velocidade e a frequência cardíaca. Os recetores GPS destes dispositivos possuem uma precisão de até 10 metros e são compatíveis com os sistemas de navegação GPS, GLONASS e Galileo. Para a medição do peso corporal (em quilogramas) e da estatura (em metros), recorreu-se ao estadiómetro portátil SECA® 213. O PNOE é um analisador de gases metabólicos de última geração, concebido para avaliar as trocas gasosas em tempo real. Com um peso aproximado de 800 gramas, destaca-se pela sua portabilidade, o que permite a realização de medições tanto em contexto laboratorial como em ambiente de campo. A sua utilização requer uma calibração prévia com o ar ambiente, realizada através da aplicação dedicada da marca. Este equipamento funciona com base no sistema de análise “breath by breath”, que permite a monitorização contínua e simultânea do volume respiratório e da concentração dos gases expirados. Na Figura 1, observa-se um militar equipado com a máscara do analisador de gases metabólicos PNOE, utilizada para medições em tempo real da ventilação pulmonar, consumo de oxigénio (VO_2) e produção de dióxido de carbono (VCO_2). Este equipamento é essencial para a avaliação da resposta fisiológica ao esforço em contextos operacionais, fornecendo dados cruciais para o estudo do desempenho e da capacidade aeróbia em ambientes militares.

Por sua vez, o Lactate Pro 2 é um dispositivo portátil destinado à medição da concentração de lactato sanguíneo, expressa em mmol/l. Requer uma amostra mínima de 0,3 μL de sangue capilar e fornece os resultados num curto intervalo de tempo, cerca de 15 segundos. O aparelho permite ainda o armazenamento de dados relativos a três indivíduos diferentes, num total de até 330 testes (Arkray, 2017).



Figura n.º 1 – Militar pronto a iniciar testes c/ EIC

Fonte: Fotografia captada pelo autor, abril 2025

2.8. Métodos de Medição Utilizados

2.8.1. Protocolo para o Cálculo da Velocidade Crítica

A determinação da velocidade crítica (VC) foi realizada com base no protocolo descrito por Hoffman et al. (2016). Este procedimento foi aplicado em duas condições distintas, com e sem o equipamento individual de combate, conforme ilustrado nos Anexos A e B. O protocolo consiste num teste de corrida com duração de 3 minutos, em que se exige dos participantes um esforço máximo e constante, sem qualquer tipo de regulação da intensidade. Antes do teste, é realizado um aquecimento de 10 minutos. Para assegurar um esforço contínuo e sem condicionamento, os participantes não são informados da duração total da prova nem do tempo restante durante a sua realização.

A recolha dos dados referentes à distância total percorrida, à velocidade média e às velocidades instantâneas foi feita através dos dispositivos Polar e Garmin. Após a conclusão dos testes, os dados foram descarregados e utilizados para o cálculo das variáveis em estudo. A velocidade crítica foi determinada com base na média da velocidade registada nos últimos 30 segundos do teste. Adicionalmente, a concentração de lactato no sangue foi medida imediatamente após o esforço, bem como aos 3, 6 e 9 minutos da fase de recuperação.

2.8.2. Protocolos de Pesagem e medição de Estatura

O peso dos indivíduos foi aferido através da média de duas pesagens, efetuadas com um intervalo de 10 segundos, sendo que um desvio de 0,50kg, entre pesagens, não seria considerado válido. A estatura foi medida, igualmente, duas vezes, sendo que uma diferença de 0,50 centímetros (cm), entre medições, também não seria aceite. Para ambas as medições, foi utilizado o estadiómetro portátil SECA® 213. As medições foram efetuadas de manhã, após o acordar, para minimizar qualquer erro (Almeida, 2023).

2.8.3. Protocolo para o cálculo da Taxa Metabólica Basal

A determinação da Taxa Metabólica Basal é determinada através do sistema PNO $\bar{E}$ que é uma ferramenta portátil e validada cientificamente que permite realizar medições metabólicas precisas com base nesse princípio. Através de sensores de fluxo e de análise de gases, integrados numa máscara usada pelo avaliado, o PNO $\bar{E}$ recolhe dados respiratórios em tempo real e calcula o gasto energético. Este método é amplamente utilizado em fisiologia do exercício e nutrição clínica. É determinada a energia despendida, expressa em quilocalorias por minuto volumes dos valores de VO_2 e VCO_2 , permitindo aferir também o quociente respiratório.

A utilização do PNO $\bar{E}$ para medir a TMB requer a implementação de um protocolo rigoroso para garantir a validade dos resultados. O indivíduo deve apresentar-se em jejum (idealmente entre 8 a 12 horas), em repouso físico e mental, e sem estímulos externos que possam alterar a taxa metabólica, como o consumo recente de cafeína, nicotina ou a prática de exercício físico intenso nas horas anteriores. Durante a medição, que durou 10 minutos, o avaliado permanece deitado respirando de forma natural pela máscara do equipamento. O sistema regista continuamente os volumes ventilatórios e os gases respiratórios, fornecendo ao final da sessão o valor estimado do gasto energético em repouso.



Figura n.º 2 – Militar durante medições de TMB
Fonte: Fotografia captada pelo autor, abril 2025

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

No presente capítulo vão ser expostos os resultados obtidos nos testes efetuados. Primeiramente, em 3.1, serão apresentados os resultados obtidos nos testes de Velocidade Crítica não só relativamente aos consumos de oxigénio e produção de CO₂, mas também relativamente ao lactato. Seguidamente, em 3.2, serão abordados os dados obtidos nos testes da TMB, e análise dos mesmos com o consumo de O₂ durante a prova de VC.

3.1 Resultados da Velocidade Crítica

3.1.1. Consumo de O₂

No âmbito dos testes de Velocidade Crítica (VC), descritos no subcapítulo 2.8.1, os participantes realizaram duas provas: uma utilizando o equipamento individual de combate e outra sem EIC. Durante ambas as provas foram registadas e analisadas os valores de VC, assim como a velocidade máxima e a velocidade média. A totalidade dos dados recolhidos encontra-se apresentada na Tabela n.º 11 do Apêndice B.

Para uma análise mais detalhada do impacto do equipamento individual, foram igualmente considerados os valores do consumo de Oxigénio (O₂).

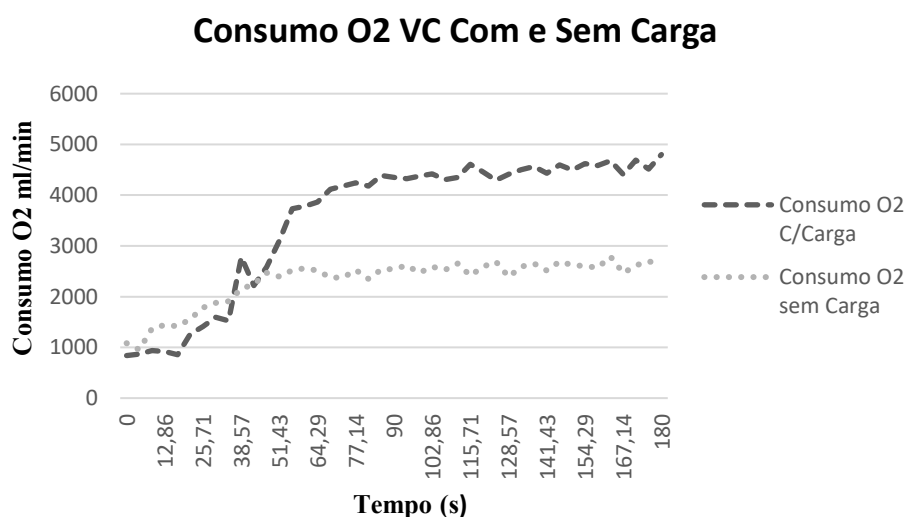


Figura n.º 3 – Consumo de O₂ VC com e sem Carga

Fonte: Elaboração Própria

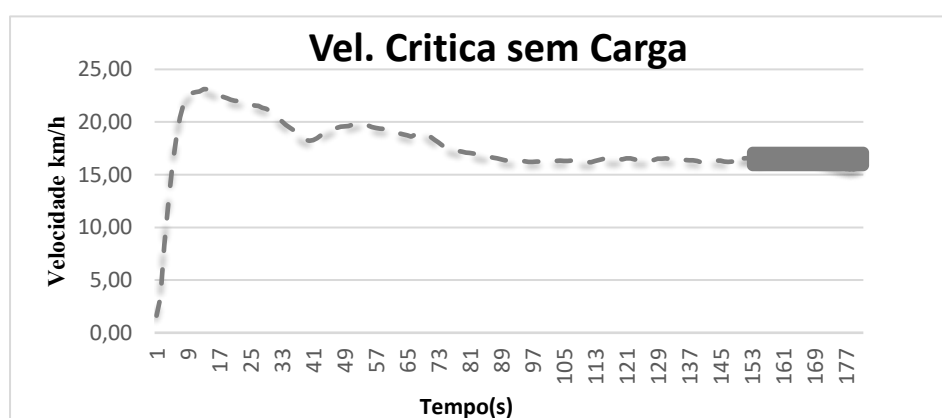
A média de consumo de O₂ obtida pelos indivíduos quando equipados foi de 4304,99 ml/min, enquanto sem o equipamento individual de combate foi de 2513,42 ml/min, revelando um aumento de consumo de Oxigénio de 42%. Com o equipamento, o valor mais elevado registado foi de 4444,73 ml/min e o mais baixo de 446,65 ml/min. Por outro lado, sem o equipamento, os valores oscilaram entre um máximo de 3673,32 ml/min um mínimo de 752,913 ml/min. A figura n.º 3 é comparada a evolução do consumo médio de O₂ ao longo dos três minutos de esforço nas provas com e sem equipamento.

3.1.2. Teste de Velocidade Crítica e Lactatémia

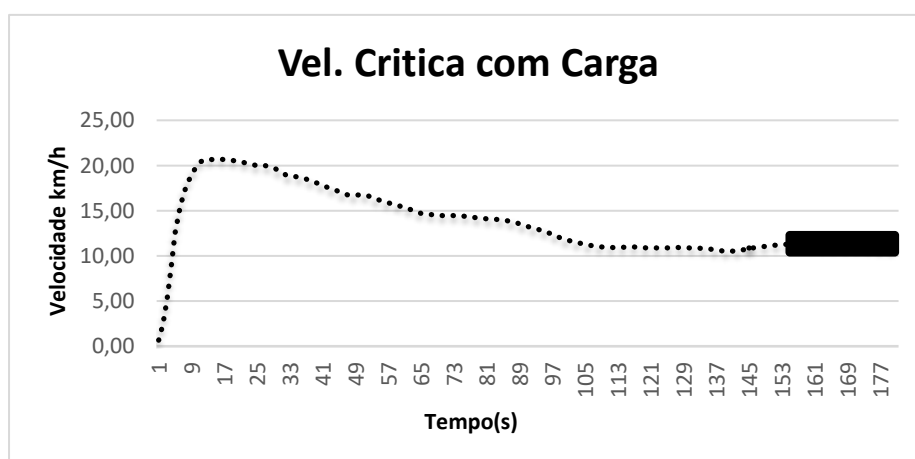
A média da Velocidade Crítica (VC) obtida pela amostra quando equipada foi de 11,06±0,15 km/h, enquanto sem o equipamento individual de combate foi de 16,37±0,52 km/h, revelando uma redução de desempenho aproximada de 32%. Com o equipamento, o valor mais elevado de VC registado foi de 11,23 km/h e o mais baixo de 10,78 km/h. Por outro lado, sem o equipamento, os valores oscilaram entre um máximo de 17,00 km/h, um mínimo de 15,68 km/h. Observou-se, assim, uma diminuição de 5,29 km/h equipados para sem equipamento e uma redução de 5,77 km/h na velocidade máxima. As Figuras n.º 4, 5 e 6 representam, respetivamente, a evolução da velocidade média ao longo dos três minutos de esforço nas provas com e sem equipamento, salientando-se, nos últimos 30 segundos, o valor correspondente à VC e uma comparação em ambas as condições. Estes dados evidenciam de forma clara o impacto negativo do uso do equipamento individual na capacidade de desempenho dos participantes. A análise da variável Velocidade Crítica (VC), medida com e sem o Equipamento Individual de Combate, revelou diferenças estatisticamente significativas entre as duas condições, tanto ao nível das médias como das medianas. Em condição com carga, a média da VC foi de 11,06 km/h, com um desvio padrão de 3,67, enquanto sem carga foi de 16,37 km/h, com um desvio padrão de 2,75. Esta diferença de aproximadamente 3,9 km/h entre condições representa uma redução de cerca de 22% na performance sob efeito do equipamento. A mediana da VC também apresentou diferenças relevantes sendo 12,55 km/h com carga fazendo face aos 16,60 km/h sem carga, sendo que os testes não paramétricos confirmaram a significância estatística desta diferença ($p < 0,001$), levando ao rejeitar da hipótese nula de igualdade entre grupos.

A distribuição dos dados foi ainda analisada através dos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, que indicaram que ambas as amostras (com e sem carga) não seguem uma distribuição normal ($p < 0,001$), justificando o recurso a testes não paramétricos para a comparação entre condições.

Estes dados quantitativos reforçam que o uso do equipamento individual de combate tem um impacto metabólico e funcional significativo nos militares, comprometendo a sua capacidade de sustentação de esforço. A quebra na Velocidade Crítica, validada estatisticamente, indica um comprometimento claro da resistência aeróbia, sendo necessário maior consumo de oxigênio, maior solicitação das vias anaeróbias (como evidenciado anteriormente pela concentração de lactato), e uma percepção de esforço mais elevada. A significância estatística desta diferença justifica a adoção de medidas corretivas e preventivas, quer ao nível da preparação física específica para missões com carga, quer no desenvolvimento e aperfeiçoamento do próprio equipamento individual de combate.



**Figura n.º 4 – Velocidade Crítica
Sem Carga**
Fonte: Elaboração Própria



**Figura n.º 5– Velocidade Crítica
Com Carga**
Fonte: Elaboração Própria

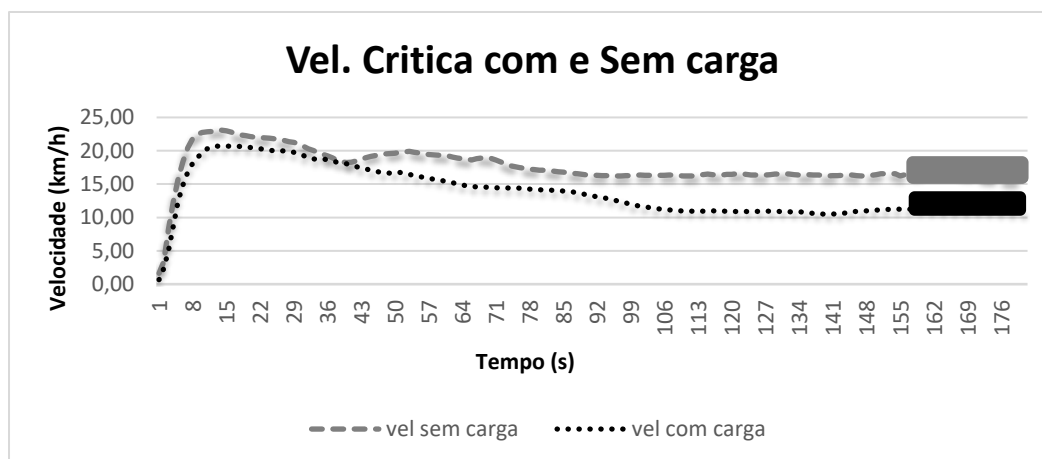


Figura n.º6 – Velocidade Crítica c/ e s/ carga

Fonte: Elaboração Própria

Como se observa nas tabelas n.º 4 e 5, foram registados os valores da concentração de lactato no sangue dos indivíduos, em mmol/l, antes do teste, imediatamente após a sua conclusão e, posteriormente, em intervalos de três minutos durante o período de repouso, até se verificar uma diminuição dos níveis de lactato, permitindo assim estimar o tempo de recuperação. Verificou-se que, no teste com equipamento, tanto a concentração de lactato no final do esforço como o tempo de recuperação foram superiores ao teste sem equipamento. Especificamente, no teste com equipamento, a recuperação foi atingida aos 6 minutos, enquanto no teste sem equipamento o tempo máximo de recuperação registado foi de 9 minutos.

Tabela n.º 4 – Concentração do Lactato Com Equipamento na VC

C/ Equipamento	Antes	Fim	3min	6min
Média (mmol/l)	1,85	7,1	11,00	10,80
Desvio Padrão	0,62	2,07	3,31	2,05

Tabela n.º 5 – Concentração do Lactato Sem Equipamento na VC

S/ Equipamento	Antes	Fim	3min	6min	9min
Média (mmol/l)	1,85	4,90	11,25	11,55	10,53
Desvio Padrão	0,43	0,57	3,34	2,94	3,07

3.2. Resultados da Taxa Metabólica Basal em Repouso

3.2.1 Teste da Taxa metabólica

O gráfico apresentado representa a evolução do consumo de oxigénio (ml/min) ao longo de um período de 10 minutos de repouso, com os indivíduos posicionados em decúbito dorsal (deitados) e sem qualquer equipamento adicional. Este protocolo visou (como já acima referido) monitorizar a resposta fisiológica em condições de repouso absoluto, permitindo observar a forma como o organismo regula o seu metabolismo em ausência de esforço físico.

Logo nos primeiros instantes, observou-se um consumo de oxigénio relativamente mais elevado, o que pode estar associado ao processo de transição entre o estado ativo anterior (mesmo que mínimo, como caminhar ou posicionar-se) e o início do repouso. Com o passar do tempo, verifica-se uma tendência clara de descida progressiva do consumo de oxigénio, refletindo a progressiva estabilização do sistema cardiorrespiratório e a consequente diminuição da atividade metabólica.

Este padrão é fisiologicamente esperado e traduz o ajustamento do organismo ao estado de repouso homeostático. A descida gradual e contínua do consumo de oxigénio pode ser interpretada como um indicador de uma recuperação eficaz, em que os principais sistemas fisiológicos (cardíaco, respiratório e muscular) vão reduzindo gradualmente a sua atividade até atingirem uma linha de base estável.

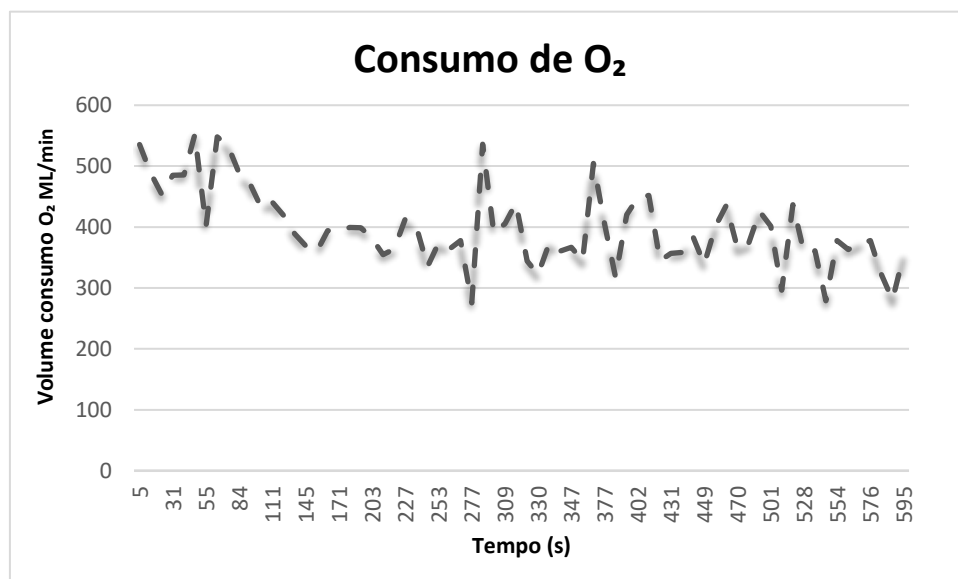


Figura n.º 7– Consumo de O₂ TMB
Fonte: Elaboração Própria

Como valor de referência, considerou-se a TMB, cuja média foi de aproximadamente 451,87 ml/min.

Durante a realização do esforço, observou-se um aumento significativo no consumo de oxigénio em ambas as condições. O valor máximo registado foi de cerca de 4800 ml/min com carga e 3673 ml/min sem carga. Comparando estes valores com a média da TMB, conclui-se que o consumo de O₂ aumentou cerca de 10,62 vezes na condição com carga e 8,13 vezes na condição sem carga.

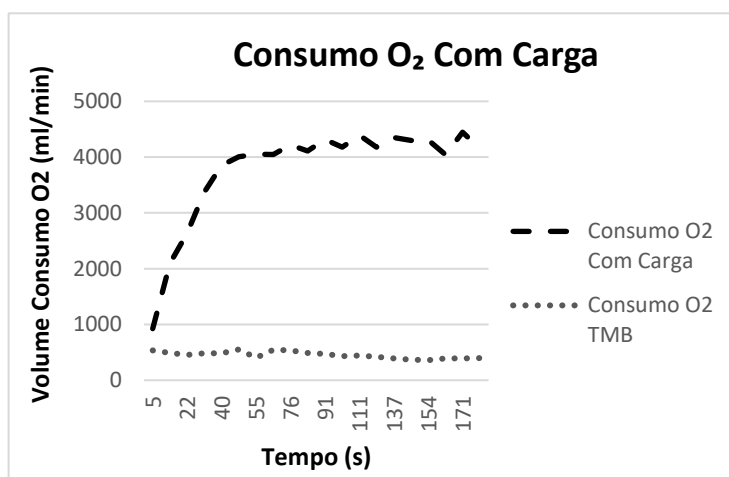


Figura n.º 8– Consumo de O₂ TMB e Consumo de O₂ Teste VC c/Carga
 Fonte: Elaboração Própria

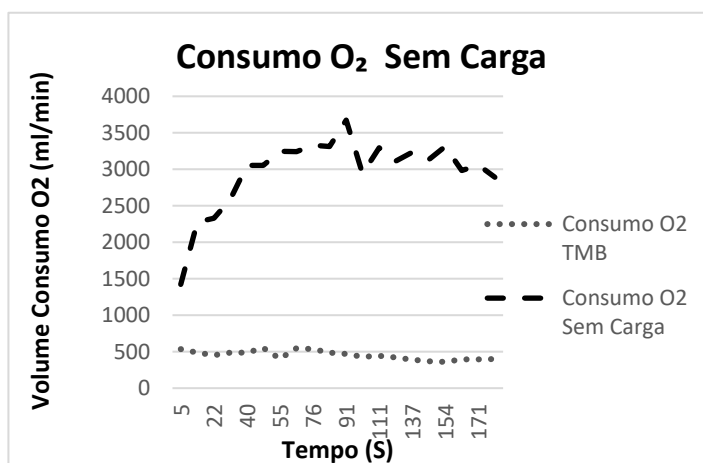


Figura n.º 9– Consumo de O₂ TMB e Consumo de O₂ Teste VC s/Carga
 Fonte: Elaboração Própria

CONCLUSÃO

O transporte de carga externa em excesso está associado a um aumento significativo do esforço físico imposto aos militares, o que contribui para a diminuição do seu desempenho físico, eleva o risco de lesões e compromete a eficácia na execução de tarefas essenciais. Neste contexto, o presente estudo centrou-se na análise do impacto metabólico provocado pelo Equipamento Individual de Combate no rendimento físico de 4 militares com o intuito de identificar e enumerar quais as principais alterações de foro metabólico. Para isso, foi selecionada uma amostra composta por quatro militares do 2º Batalhão de Infantaria Paraquedista do Exército português, integrados nas unidades de manobra e atualmente em aprontamento para a 17.^a Força Nacional Destacada no âmbito da missão MINUSCA. O estudo iniciou-se com uma revisão bibliográfica aprofundada sobre a temática, seguindo-se a realização de testes laboratoriais para avaliar a Velocidade Crítica (VC) dos militares, quer em condição com o equipamento individual, quer sem este, de modo a quantificar com precisão os efeitos da carga transportada sobre o desempenho fisiológico dos operacionais. Os resultados revelaram que os paraquedistas, em condição sem carga, demonstraram um elevado desempenho aeróbio.

Assim sendo, após esta extensa investigação, respondendo à PD nº 1 **“Qual o nível físico sem equipamento dos 4 militares”** verificou-se que velocidade Crítica (VC) média atingida sem equipamento foi de aproximadamente 16,04 km/h, com valores individuais entre 15,68 km/h e 18,70 km/h. Nesta condição, o consumo de oxigénio manteve-se em níveis moderados (média 2513 ml/min), e a concentração de lactato sanguíneo ao final do teste foi relativamente baixa (cerca de 4,9 mmol/L). Estes indicadores refletem uma capacidade aeróbia robusta e um esforço elevado. Os militares sem carga conseguiram sustentar velocidades elevadas por 3 minutos com fadiga fisiológica controlada.

Relativamente à PD nº2, **“Qual o nível físico com equipamento dos 4 militares”**, com a utilização do Equipamento Individual de Combate, observou-se um claro decréscimo no rendimento físico e um aumento substancial do stress metabólico. A VC média com carga extra (13,06 km/h) foi significativamente inferior à sem carga, situando-se os valores individuais apenas entre 11,78 e 14,23 km/h. Os militares, portanto, alcançaram velocidades críticas bem mais baixas quando equipados, evidenciando o impacto da carga externa na sua resistência aeróbia. Paralelamente, o consumo de oxigénio aumentou drasticamente com o uso do equipamento em média 4305 ml/min ao invés de 2513 ml/min o que representa uma

necessidade de mais 42% de O₂ para realizar o esforço com carga. Este dado indica que a locomoção com peso adicional impõe um custo energético muito superior, obrigando o organismo a trabalhar perto dos seus limites metabólicos. Adicionalmente, a concentração de lactato no sangue ao final do teste praticamente duplicou com equipamento, atingindo em média 7,1 mmol/L (comparado a 4,9 mmol/L sem carga). O lactato continuou a subir nos minutos após o esforço, alcançando 11,8 mmol/L aos 6 minutos de recuperação (ligeiramente superior ao pico 11,5 mmol/L sem carga)

Relativamente à PD nº3 **“Comparar o nível físico com e sem equipamento”**, a comparação direta entre condições com e sem carga evidencia diferenças marcantes em todas as variáveis de desempenho físico. A VC sofreu uma queda de cerca de 5,3 km/h, passando de 16,4 para 11,1 km/h em média uma redução relativa de aproximadamente 32% no desempenho. As variáveis metabólicas e de fadiga apresentaram alterações concordantes com este decréscimo de performance ao usar o equipamento, os militares terminaram o teste em condições de maior exaustão fisiológica comprovado pelo maior consumo de O₂, pela maior acumulação de lactato. Concretamente, a concentração de lactato pós-esforço aumentou 45% com a carga, sugerindo maior recrutamento das vias anaeróbias durante o teste; além disso, a recuperação dos níveis de lactato foi mais lenta na condição equipada (o lactato permaneceu elevado por até 9 minutos na condição sem carga, e atingiu valores máximos ainda mais altos com carga antes de começar a decrescer. Também a frequência cardíaca atingiu patamares próximos do máximo mais precocemente e manteve-se elevada por mais tempo com o peso adicional.

Por fim, relativamente à PD4 **“Perceber a influência de equipamento nas variáveis em estudo”**, depois de todas as análises supracitadas deixam claro que a carga externa impõe uma influência negativa pronunciada sobre todas as variáveis críticas de desempenho. A principal variável em estudo, a Velocidade Crítica, reduziu-se drasticamente com o uso do equipamento, confirmando que a carga compromete a endurance aeróbia dos militares. Do mesmo modo, a velocidade máxima atingida no teste decresceu (de 17 km/h sem carga para 11,2 km/h com carga, em média), ilustrando limitações também na capacidade de esforço de alta intensidade. Em contrapartida, observou-se um elevado o consumo de oxigénio aumentou para suprir o trabalho extra de locomoção com peso, a produção de lactato foi maior e a frequência respiratória subiu a níveis mais altos com o equipamento. Conclui-se que o uso do equipamento individual de combate impacta negativamente o desempenho metabólico e físico de uma equipa de paraquedistas. A presença da carga externa induziu um aumento significativo do custo energético do exercício mais 42% de consumo de O₂, VC

32% inferior. Em contraste, sem o peso adicional os mesmos indivíduos demonstraram capacidades físicas substancialmente superiores, conseguindo manter intensidades elevadas. Em síntese, o equipamento de combate impõe uma sobrecarga metabólica que diminui o rendimento e acelera a fadiga,. O presente trabalho comprova que carregar 20 kg de equipamento de combate afeta profundamente a fisiologia do indivíduo, reduzindo a sua velocidade sustentável e capacidade de trabalho, e aumentando o esforço requerido para cumprir a missão.

Apesar da relevância dos dados obtidos e da sua utilidade prática para o contexto militar, esta investigação apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Em primeiro lugar, a dimensão reduzida da amostra, composta por apenas quatro militares do 2.º Batalhão de Infantaria Paraquedista, limita a generalização dos resultados a outras unidades de Infantaria. A escolha de uma amostra tão específica e reduz o poder estatístico das análises realizadas e impede a extrapolação dos resultados para um universo mais amplo de militares.

Face a estas limitações, propõem-se como linhas de investigação futura o alargamento da amostra a um número mais representativo de militares e igualmente pertinente a realização de estudos longitudinais que acompanhassem os mesmos indivíduos ao longo do tempo, monitorizando a evolução da sua capacidade física sob diferentes cargas operacionais e regimes de treino.

Outra vertente relevante a explorar será a comparação entre diferentes configurações de EIC, nomeadamente a análise do impacto de sistemas de transporte de cargas. Esta avaliação em termos de desempenho físico, fadiga e perceção subjetiva do esforço poderá fornecer contributos importantes para o desenvolvimento e aquisição de equipamento militar mais eficiente.

BIBLIOGRAFIA

- A Guerra contemporânea e os problemas atuais para a defesa do país.* (2016). *Military Review*. Recuperado de <https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/Portuguese/a-guerra-contemporanea-e-os-problemas-atuais-para-a-defesa-do-pais.pdf>
- Almeida, J. (2023). *Exigências metabólicas do equipamento individual de combate em ambiente urbano [Relatório de investigação]*. Academia Militar. <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/50253>
- Almeida, J., Almeida, N., Simões, P., Almeida, C., & Lucena, R. (2023). *Exigências metabólicas do equipamento individual no desempenho físico em ambiente urbano*. 5.º Encontro de Investigação e Desenvolvimento em Ciências Militares (ECM2023). <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/50253>
- Arkray. (2017). *Lactate Pro 2 LT-1730*. <https://www.arkray.eu/english/products/lt-1730.html>.
- Børsheim, E., & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine*, 33(14), 1037–1060. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333140-00002>
- Brickley, G., Doust, J. & Williams, C. A. (2002). Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. *European Journal of Applied Physiology*, 88(1-2): 146-51.
- Clarke, A. C., Presland, J., Rattray, B., & Pyne, D. B. (2014). Critical velocity as a measure of aerobic fitness in women's rugby sevens. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(1), 144–148. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.03.008>
- Creswell, J. (2014). *Research Design - Qualitative, Quantitative and Mixed Approaches*
- D. S., Carmon, E., & Ostfeld, I. (2016). Critical Velocity is Associated with Combat-Specific Performance Measures in a Special Forces Unit. *Journal of Strength and Conditioning Research*. www.nsc.com
- Dekerle, J. (2006). The use of Critical Velocity in Swimming. A place for Critical Stroke Rate. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(2): 201-205
- Denadai, B. S., Ortiz, M. J., Stella, S. & Mello, M. T. (2003). Validade da velocidade crítica para a determinação dos efeitos do treinamento no limiar anaeróbio em corredores de

- endurance. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 3(1): 16-23.
- Department of the Army. (2009). *Combatives (FM 3-25.150)*. U.S. Government Printing Office.
- Department of the Army. (2020). *Holistic health and fitness (FM 7-22)*. <https://armypubs.army.mil>
- Dicks, N. D., & Pettitt, R. W. (2021). Optimization of the Critical Speed Concept for Tactical Professionals: A Brief Review. *Sports*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/sports9080106>
- Dorman, L. E., Grier, T. L., & Stine, J. A. (2021). *The impact of military load carriage on the metabolic cost of walking and running: Implications for military performance*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(4), 963-973. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000004016>
- Estado-Maior do Exército. (2021). *Manual de treino operacional para unidades de infantaria. Exército português*.
- Fernandes, R. & Vilas-Boas, J. (1998). Critical velocity as a criterion for estimating aerobic training pace in juvenile swimmers. In: Keskinen, K.L., Komi, P.V., Hollander, A.P. (eds.). *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. Jyväskylä; Gummerus Printing: 233-237
- Fernandes, R. J., & Vilas-Boas, J. P. (2002). *Velocidade crítica na natação: Estado da arte e perspectivas futuras*. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 2(3), 5–20. <https://revistas.rcaap.pt/motricidade/article/download/2903/5546/22237>
- Fortin, M.-F. (1999). *O Processo de Investigação: Da Conceção à Realização* Lusociência
- Frankenfield, D. C., Roth-Yousey, L., & Compher, C. (2005). Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review. *Journal of the American Dietetic Association*, 105(5), 775–789.
- Goupil, C., Ouerdane, H., Herbert, E., D'Angelo, Y., & Goupil, C. (2017). *Thermodynamics of metabolic energy conversion under muscle load*. *arXiv preprint arXiv:1708.03254*. <https://arxiv.org/abs/1708.03254>
- Guerra Híbrida e Ciberconflitos: Uma Análise das Ferramentas Cibernéticas nos Casos da Síria e Conflito Rússia-Ucrânia*. (2016). Ministério da Defesa do Brasil. Recuperado de https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/ensino_e_pesquisa/defesa_academia/cadn/artigos/XIII_cadn/guerra_hibrida_e_ciberconflitos_uma_analise_das_ferramentas_ciberneticas_nos_casos_da_siria_e_conflito_russiaucrania.pdf
- Guerra Tecnológica: novo modus operandi*. (2024). EuroDefense Portugal. Recuperado de

- <https://eurodefense.pt/guerra-tecnologica-novo-modus-operandi/>
- Guerra, P. H., Nobre, M. R. C., & Silveira, J. A. C. (2014). *Efeitos metabólicos do exercício físico na obesidade infantil*. *Revista Paulista de Pediatria*, 32(1), 122–130. <https://doi.org/10.1590/S0103-05822014000100019>
- Heymsfield, S. B., Smith, S. R., & Thomas, D. M. (2019). *Human Body Composition* (3rd ed.). Human Kinetics
- Hoffman, M. W., Stout, J. R., Hoffman, J. R., Landua, G., Fukuda, D. H., Sharvit, N., Moran, Jones, A. M., & Vanhatalo, A. (2017). The 'critical power' concept: Applications to sports performance and training. In M. Cardinale, R. Newton, & K. Nosaka (Eds.), *Strength and Conditioning: Biological Principles and Practical Applications* (pp. 287–301). Wiley.
- Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H., & Poole, D. C. (2010). Critical Power: *Implications for Determination of VO2max and Exercise Tolerance*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(10), 1876–1890. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d9cf7f>
- Knapik, J. J., Harman, E. A., & Reynolds, K. L. (2004). *The impact of physical training on military performance*. *Military Medicine*, 169(11), 908-915. <https://doi.org/10.7205/MILMED.169.11.908>
- La guerra híbrida de la desinformación en la UE alcanza un nivel sin precedentes*. (2024). *El País*. Recuperado de <https://elpais.com/tecnologia/2024-11-24/la-guerra-hibrida-de-la-desinformacion-en-la-ue-alcanza-un-nivel-sin-precedentes.html>
- Lieberman, H. R., Bathalon, G. P., Falco, C. M., Kramer, F. M., Morgan, C. A., & Niro, P. (2005). *Cognitive performance, stress, and military training: Human studies*. U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine (USARIEM). <https://usariem.army.mil>
- Lieberman, H. R., Bathalon, G. P., Falco, C. M., Kramer, F. M., Morgan, C. A., & Niro, P. (2008). The fog of war: decrements in cognitive performance and mood associated with combat-like stress. *Military Medicine*, 170(10), 871–877.
- Marinha portuguesa*. (2020). *Curso de Fuzileiro – Estrutura e exigência física*. www.marinha.pt
- Marôco, J. (2018). *Análise estatística com o SPSS Statistics* (7th ed.). Produtos e Serviços de Estatística.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2015). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance* (8th ed.). Wolters Kluwer

- Monod, H. & Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8: 329-338
- NATO. (2019). *STANAG 2565: Medical support to operations – Psychological support*. NATO Standardization Office.
- NATO. (2022). *AJP-4.10.3: Allied joint doctrine for physical training and military fitness*. NATO Standardization Office.
- Nindl, B. C., Barnes, B. R., Alemany, J. A., Frykman, P. N., & Shippee, R. L. (2007). Physiological consequences of U.S. Army Ranger training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(8), 1380–1387
- Nindl, B. C., Billing, D. C., Drain, J. R., Beckner, M. E., Greeves, J. P., Maddison, K. J., & Montain, S. J. (2013). *Perspectives on resilience for military readiness and preparedness: Report of an international military physiology roundtable*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 727-730. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318282577f>
- Nindl, B. C., Frykman, P. N., & McLester, J. R. (2013). *Military load carriage: Physiological and biomechanical considerations*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(6), 1660-1670. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31829a64fe>
- Oliveira, M. F. M., Caputo, F., Lucas, R. D., Denadai, B. S. & Greco, C. C. (2012). Physiological and Stroke Parameters to Assess Aerobic Capacity in Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(3): 218-223.
- Oliveira, P. M. M. R. (2021). *Aptidão física na função policial: O impacto metabólico agudo no uso de fardamento e equipamentos de proteção individual*. Dissertação de Mestrado, Academia Militar. <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/37067/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Pedro%20Oliveira.pdf>
- Park, C. H., Kwon, J. H., & Lee, Y. K. (2018). *Effect of military load carriage on metabolic performance: A systematic review*. *Journal of Sports Science and Medicine*, 17(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jssm.2017.12.009>
- Poehlman, E. T. (1989). A review: Exercise and its influence on resting energy metabolism in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(5), 515–525.
- Poole, D. C., Burnley, M., Vanhatalo, A., Rossiter, H. B., & Jones, A. M. (2016). *Critical power: An important fatigue threshold in exercise physiology*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2320-2334.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000979>

- Poole, D. C., Burnley, M., Vanhatalo, A., Rossiter, H. B., & Jones, A. M. (2016). *Critical power: An important fatigue threshold in exercise physiology. Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2320–2334. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000939>
- Prodanov, C., & Freitas, E. (2013). *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico*
- Ramos, R. de O. (2019). *A influência do peso do equipamento individual de combate no desempenho físico dos militares [Monografia]*. Exército brasileiro. <https://bdex.eb.mil.br/jspui/handle/123456789/4487>
- Resnik, D. B. (2020). *What is ethics in research & why is it important?* National Institute of Environmental Health Sciences. <https://www.niehs.nih.gov/research/resources/bioethics/whatis/index.cfm>
- Ribeiro, J. (2010). *Investigação e avaliação em psicologia e saúde (2.ª ed.)*. Placebo Editora.
- Santos Filho, C. A. P. (2020). *O ciclo de prontidão das unidades paraquedistas: Experiência da Brigada de Infantaria Para-quedista no Sistema de Prontidão Operacional [Monografia]*. Escola de Comando e Estado-Maior do Exército. <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/13342/1/MO%206853%20-%20CARLOS%20Alberto%20Pinheiro%20dos%20Santos%20Filho.pdf>
- Santos, A. (2020). *O impacto do equipamento tático / transporte de carga no desempenho físico dos militares [Trabalho de investigação]*. Academia Militar. <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/51314>
- Santos, L., Garcia, F., Monteiro, F., Lima, J., Silva, N., Silva, J., Piedade, J., Santos, R., & Afonso, C. (2016). *Orientações metodológicas para a elaboração de trabalhos de investigação. [Instituição não especificada]*.
- Silva, F. M., & Damiani, D. (2011). Fibra alimentar: ingestão adequada e efeitos sobre a saúde do metabolismo glicídico e lipídico. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, 55(5), 365–376. <https://doi.org/10.1590/S0004-27302011000500003>
- Solomonson, A. A., Dicks, N. D., Kerr, W. J., & Pettitt, R. W. (2016). Influence of load carriage on high intensity running performance estimation. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://www.nsga.com>
- Tharion, W. J., Lieberman, H. R., Montain, S. J., Young, A. J., Baker-Fulco, C. J., DeLany, J. P., & Hoyt, R. W. (2005). *Nutrition and cognitive performance in military*

- operations: U.S. Army research efforts.* U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine.
- U.S. Department of Defense. (2015). *Joint publication 3-50: Personnel recovery.* <https://www.jcs.mil>
- U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine (USARIEM). (2011). *Load carriage performance and injury risk.* <https://usariem.army.mil>
- Weigend, F. C., Siegler, J., & Obst, O. (2021). A new pathway to approximate energy expenditure and recovery of an athlete. *arXiv Preprint*, arXiv:2104.07903. <https://arxiv.org/abs/2104.07903>
- Westerterp, K. R. (2004). Diet induced thermogenesis. *Nutrition & Metabolism*, 1(1), 5. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-1-5>

APÊNDICES

APÊNDICE A – CONSENTIMENTO INFORMADO

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Título do Estudo: Impacto metabólico do Equipamento Individual de combate numa equipa de paraquedistas

Investigador responsável: Aspirante de Infantaria Tomás Cardoso

E-mail: cardoso.tspcm@academiamilitar.

Orientador: Coronel de Cavalaria Rui Lucena

Eu, abaixo-assinado declaro que:

- a) Fui informado de que a presente investigação se destina à realização de um Trabalho de Investigação Aplicada (TIA) no âmbito do treino físico militar sendo necessária a recolha de dados físicos e fisiológicos com base em testes em laboratório e no terreno;
- b) Para tal está prevista a realização do seguinte teste:
 - a. Velocidade Crítica;
- c) É esperado que todos os elementos realizem os testes nas mesmas condições de modo que os resultados sejam o mais corretos possível;
- d) Foi-me garantido, no que diz respeito à confidencialidade dos meus dados, que a identificação dos participantes neste estudo será mantida em anonimato;
- e) Sei que a qualquer momento me posso recusar a participar ou a interromper a participação no presente estudo, sem nenhum tipo de penalização ou repercussão;
- f) Compreendi a informação suprarreferida e tive oportunidade de esclarecer todas as minhas dúvidas.

Aceito participar de livre vontade no estudo acima mencionado.

Também autorizo a divulgação dos resultados obtidos no meio científico, garantindo o anonimato.

Aceito participar de livre vontade no estudo acima mencionado.

Também autorizo a divulgação dos resultados obtidos no meio científico, garantindo o anonimato.

Assinatura do Investigador

Assinatura do Participante

APÊNDICE B – TABELAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS VC

Tabela n.º6 - $\dot{V}O_2$ e VCO_2 Com e Sem Equipamento (ml/min)

$\dot{V}O_2$ Com Equipamento (ml/min)			
	Média	Mínimo	Máximo
Indivíduo 1	3372,72	925,38	4886,61
Indivíduo 2	4011,261	947,55	5113,96
Indivíduo 3	3021,957	839,57	4688,55
Indivíduo 4	3748,148	872,11	4754,22
$\dot{V}O_2$ Sem Equipamento (ml/min)			
	Média	Mínimo	Máximo
Indivíduo 1	4092,172	1762,26	5120,55
Indivíduo 2	2814,504	807,9	3180,79
Indivíduo 3	3290,188	893,74	4084,33
Indivíduo 4	2329,797	583,77	2655,88
VCO_2 Sem Equipamento (ml/min)			
	Média	Mínimo	Máximo
Indivíduo 1	4449,822	845,43	5705,54
Indivíduo 2	3215,295	803,63	4204,62
Indivíduo 3	3361,167	831,86	4180,74
Indivíduo 4	2430,089	651,48	2930,1
VCO_2 Com Equipamento (ml/min)			
	Média	Mínimo	Máximo
Indivíduo 1	4195,086	893,16	5060,19
Indivíduo 2	4698,527	816,98	5794,24
Indivíduo 3	3845,878	1132,92	4796,88
Indivíduo 4	2359,608	583,77	2626,33

Tabela n.º 7 – Estatísticas Descritivas dos Testes de VC

	Velocidade Crítica (km/h)	Velocidade Máxima (km/h)
Indivíduo_1	12,1	22,2
Indivíduo_2	10,5	19,7
Indivíduo_3	12,3	21,5
Indivíduo_4	8,8	24,3
Média	11,06	
	Velocidade Crítica (km/h)	Velocidade Máxima (km/h)
Indivíduo_1	15	22,2
Indivíduo_2	17,9	24,2
Indivíduo_3	18,4	20,6
Indivíduo_4	14,6	27,3
Média	16,37	

ANEXOS

ANEXO A – EQUIPAMENTO E ARMAMENTO DO ATIRADOR



Figura n.º 12 – Equipamento e Armamento do Atirador

Fonte: Santos (2021)

ANEXO B – PESO DO ARMAMENTO

Designação do Armamento	Representação do Armamento	Peso do Armamento
Espingarda de Assalto FN SCAR-L		3,50kg
Espingarda de Atirador especial FN SCAR- H		3,90kg
Pistola Glock 17 Gen 5 FS		0,63kg

Figura n.º 13 – Peso do Armamento Individual

Fonte: Alves (2022)

Designação do Armamento	Capacidade do carregador/fita	Peso do carregador/fita
Espingarda de Assalto FN SCAR-L	Carregador 30 munições 5,56x45 mm (NATO)	0,57kg
Espingarda de Atirador especial FN SCAR- H	Carregador 20 munições 7,62x51 mm (NATO)	0,75kg
Pistola Glock 17 Gen 5 FS	Carregador 17 munições 9x19 mm (NATO)	0,28kg
ML FN MINIMI 5,56 Mk3	Fita 100 munições 5,56x45 mm (NATO)	0,53kg

Figura n.º 15 – Peso dos Carregadores Municiados

Fonte: Alves (2022)

ANEXO C – PERCEÇÃO SUBJETIVA DO ESFORÇO

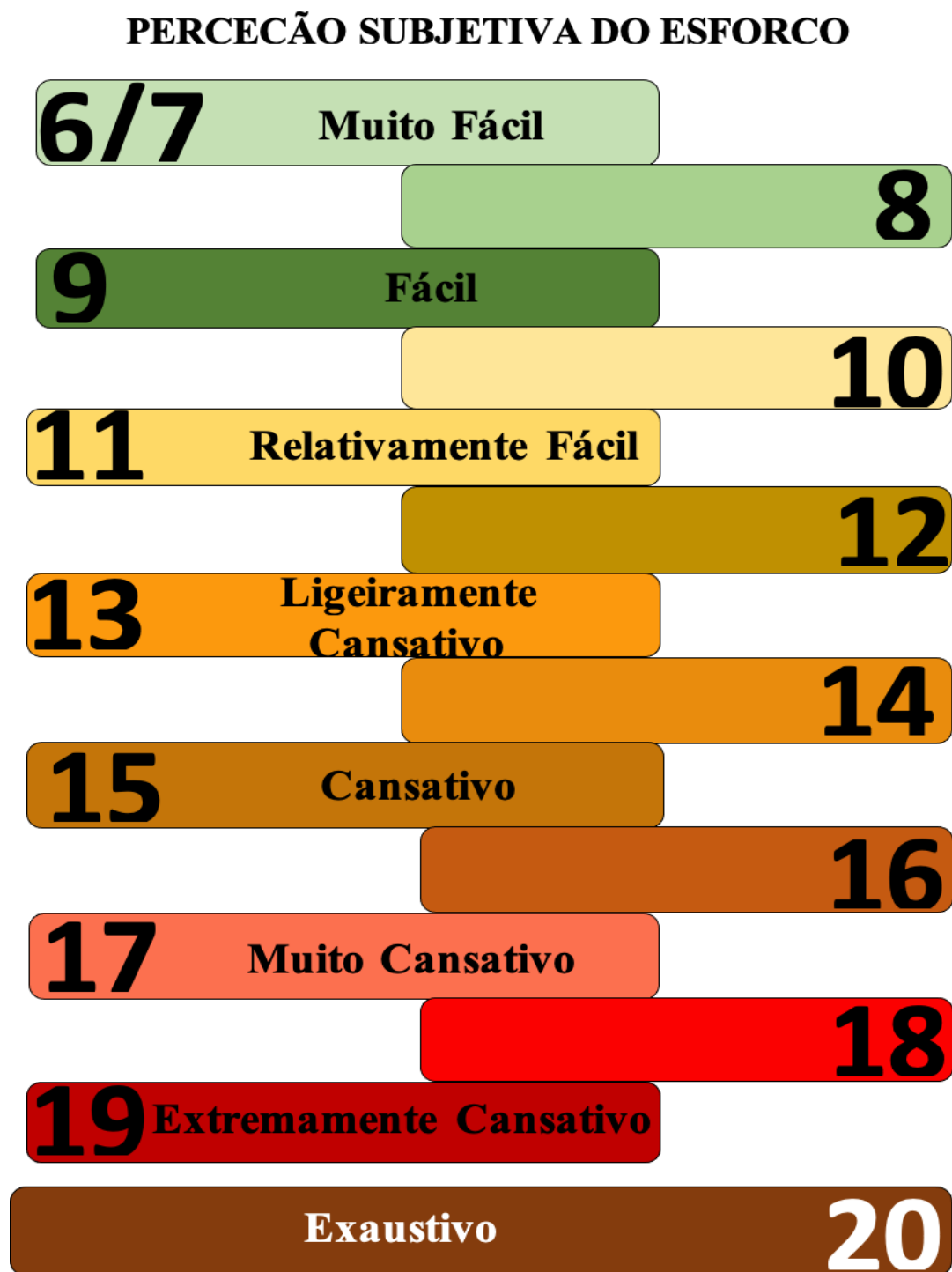


Figura n.º 16 – Escala da PSE

Fonte: Alves (2022)